

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.311

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: «Прогнозування графіків електричного навантаження на основі ортогональних перетворень»

Виконав (-ла): студент (-ка) VI курсу, групи ОЕ-91мп

_____ Гнатюк Ігор Андрійович
(прізвище, ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник д.т.н., проф. Волошко А.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент

Київ – 2020р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра електропостачання
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ В.А. Попов
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Гнатюку Ігорю Андрійовичу

1. Тема дисертації «Прогнозування графіків електричного навантаження на основі ортогональних перетворень»

науковий керівник дисертації д.т.н., проф. Волошко Анатолій Васильович ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. №3198-с

2. Строк подання студентом дисертації 14 грудня 2020 року

3. Об'єкт дослідження – Прогнозування графіків електричного навантаження різних об'єктів господарювання

4. Предмет дослідження: Створення структури системи моніторингу інформаційних потоків з урахуванням їх прогностичних знань.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити – 1) Формування вектору режимних параметрів системи постачання/споживання електричної енергії; 2) Аналіз та оцінювання поточного стану електропостачання; 3) Способи прогнозування режимних параметрів

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки електричних навантажень, результати прогнозування, верифікація графіків електричних навантажень, презентаційні матеріали.

7. Орієнтовний перелік публікацій – 1) Гнатюк І.А. Інформаційна модель прогнозування часових рядів за допомогою попередньої їх сегментації на основі аналізу скалограми; 2) Розробка методу кластеризації вейвлет-перетворень графіків електричних навантажень; науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ(за результатами дисертаційних досліджень магістрантів). Київ, 27 листопада 2020 р.

8. Консультанти:

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання 31 травня 2020 року

№ п/п	Назва етапів магістерської дисертації	Строк виконання МД	Примітка
1	Формулювання мети, постановка завдань магістерської дисертації	01.09.2019- 01.10.2019	Виконано
2	Опрацювання літературних джерел та складання плану роботи	02.11.2019- 02.01.2020	Виконано
3	Проходження преддипломної практики	03.02.2020- 01.04.2020	Виконано
4	Оформлення першого розділу магістерської дисертації відповідно до завдання	02.04.2020- 10.07.2020	Виконано
5	Підготовка другого розділу та подання його керівнику	11.07.2020- 25.08.2020	Виконано
6	Захист преддипломної практики	26.08.2020- 15.09.2020	Виконано
7	Підготовка третього розділу та подання його керівнику	16.09.2020- 15.10.2020	Виконано
8	Підготовка четвертого розділу та подання його керівнику	25.10.2020- 28.10.2020	Виконано
9	Оформлення диплома за вимогами	25.11.2020- 01.12.2020	Виконано
10	Нормконтроль	05.12.2020- 09.12.2020	Виконано
11	Передзахист магістерської дисертації	10.12.2020- 12.12.2020	Виконано
12	Захист магістерської дисертації	18.12.2020- 22.12.2020	Виконано

Календарний план

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: дисертація викладена на 106 сторінках, складається зі вступу, 4 розділів та висновку. У роботі міститься 11 рисунків, 18 таблиць та 47 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Актуальність теми: Існуюча ситуація в електроенергетичній галузі України говорить про те, що кількість споживачів електричної енергії постійно зростає. Це призводить до значного збільшення навантаження на елементи мережі і в певній мірі погіршило умови нормального функціонування систем електропостачання, в одних випадках, або зробило неможливою роботу окремих з них, в інших.

В даний час вейвлет-перетворення набуло широкого застосування для аналізу нестационарних інформаційних сигналів. Доцільність його використання в електроенергетиці обумовлюється тим, що графіки електричних навантажень (ГЕН) носять аперіодичний і нелінійний характер. З огляду на те, що вейвлет-аналіз являє собою особливий тип лінійного перетворення інформаційних сигналів і відображаються цими сигналами фізичних даних про процеси і фізичних властивості природних середовищ і об'єктів, даний метод може бути успішно використаний для математичної обробки необхідних сигналів. З його допомогою можна не тільки виявити характерні частоти сигналу, але і отримати відомості про певні локальні координатах, при яких проявляються ці частоти.

У даній роботі розглядається метод кластеризації ГЕН на основі адаптивного коефіцієнта відхилення щодо загальної вибірки значень. Як вектора ознак для кластеризації розглядається впорядкована послідовність середніх потужностей вейвлет - коефіцієнтів по субсмурам.

Мета і завдання дослідження. Основною метою роботи є застосування методів прогнозування даних для систем моніторингу та керування розподільними електричними мережами з використанням сучасних інформаційних технологій. Відповідно до мети поставлені наступні завдання:

- Формування вектору режимних параметрів системи постачання/споживання електричної енергії;
- Аналіз та оцінювання поточного стану електропостачання;
- Способи прогнозування режимних параметрів.

Об'єктом дослідження є прогнозування графіків електричного навантаження різних об'єктів господарювання.

Предмет дослідження - створення структури системи моніторингу інформаційних потоків з урахуванням їх прогнозних знань.

Методи дослідження. Для вирішення проблеми в даній роботі використовуються методи аналізу і синтезу, системного аналізу, порівняння, логічного узагальнення результатів.

Наукова новизна одержаних результатів.

Запропоновано використовувати короткострокові прогнози графіків електричного навантаження за допомогою нейронної мережі в розподільних мережах для їх верифікації

Наукові положення, які є у магістерській дисертації, отримано магістрантом самостійно.

Практичне значення отриманих результатів. Підвищення ефективності моніторингу та керування розподільними електричними мережами.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, вкладених у дисертаційній роботі було висвітлено на II науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи відображено у публікації:

1) Гнатюк І.А. Інформаційна модель прогнозування часових рядів за допомогою попередньої їх сегментації на основі аналізу скалограми; 2) Розробка методу кластеризації вейвлет-перетворень графіків електричних навантажень; науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ(за результатами дисертаційних досліджень магістрантів). Київ, 27 листопада 2020 р.

Ключові слова: РОЗПОДІЛЬНІ МЕРЕЖІ, ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ, ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ.

ABSTRACT

Structure and scope of work: The dissertation is presented on 106 articles, consists of an introduction, 4 departments and a drawing. There are 11 drawings, 18 tables, list of used sources from 47 items.

Actuality of theme. The current situation in the electricity sector of Ukraine suggests that the number of electricity consumers is constantly growing. This leads to a significant increase in the load on the network elements and to some extent worsened the conditions of normal operation of power supply systems, in some cases, or made it impossible for some of them to work in others.

Currently, wavelet transform has become widely used for the analysis of non-stationary information signals. The expediency of its use in the power industry is due to the fact that the graphs of electrical loads are aperiodic and nonlinear. Due to the fact that wavelet analysis is a special type of linear transformation of information signals and reflected by these signals physical data about processes and physical properties of natural environments and objects, this method can be successfully used for mathematical processing of necessary signals. With its help it is possible not only to reveal characteristic frequencies of a signal, but also to receive information on certain local coordinates at which these frequencies are shown.

This paper considers the method of gene clustering based on adaptive the coefficient of deviation relative to the total sample of values. An ordered sequence of average power of wavelet coefficients over subbands is considered as a vector of features for clustering.

The purpose and tasks of the study. The main purpose of the work is to apply data forecasting methods for monitoring and control systems of electrical distribution networks using modern information technologies. According to the purpose the following tasks are set:

- Formation of a vector of mode parameters of the system of supply / consumption of electric energy;
- Analysis and assessment of the current state of electricity supply;
- Methods for predicting mode parameters.

The object of the study is to predict the schedules of electrical load of various facilities.

The subject of research is the creation of the structure of the system of monitoring information flows taking into account their forecast knowledge.

Research methods. To solve the problem in this work, methods of analysis and synthesis, system analysis, comparison, logical generalization of results are used.

Scientific novelty of the obtained results.

It is offered to use short-term forecasts of schedules of electric loading by means of a neural network in distribution networks for their verification.

The scientific positions, which are in the master's dissertation, were obtained by the master's student independently.

The practical significance of the results. Improving the efficiency of monitoring and control of electrical distribution networks.

Testing of results of work. The results of the research included in the dissertation were presented at the II scientific and technical conference of IEE undergraduates (based on the results of dissertation research of undergraduates).

Publications. Materials of the dissertation work are reflected in the publication:

1) Hnatyuk I.A. Information model for forecasting time series using their preliminary segmentation based on scalogram analysis; 2) Development of a method for clustering wavelet transforms of graphs of electrical loads; scientific and technical conference of IEE undergraduates (based on the results of dissertation research of undergraduates). Kyiv, November 27, 2020

Keywords: DISTRIBUTION NETWORKS, GRAPHICS OF ELECTRICAL LOADS, SHORT-TERM FORECASTING, WAVELET TRANSFORMATION, CLUSTERIZATION.

ЗМІСТ

ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1 КЛАСИЧНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ	18
1.1 Аналітичні методи	20
1.2 Статистичні методи	21
1.3 Імовірнісні методи	24
1.4 Інтелектуальні методи прогнозування навантаження.....	26
1.5 Експериментальні системи	26
1.6 Штучні нейронні мережі	28
1.7 Клітинні автомати	29
1.8 Метод групового обліку аргументів	31
1.9 Метод опорних векторів.....	31
1.10 Метод інформаційної проходки	32
1.11 Хаотичні методи.....	33
Висновки	34
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ	36
2.1. Добові графіки навантаження споживачів	36
2.2. Добові графіки вузлових та районних підстанцій	39
2.3 Добові графіки навантаження електростанцій	40
2.3 Актуальність проблеми прогнозування електричного навантаження	43
2.4 Аналіз графіків електричного навантаження.....	45

2.5 Властивості ортогональних перетворень (вейвлет-аналізу) графіків електричних навантажень (ГЕН)	46
Висновки	56
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	57
Висновки	63
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	64
4.1 Опис ідеї проекту	64
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	65
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	65
4.4 Розроблення маркетингової програми та програми збуту стартап-проекту	69
Висновки	69
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ВСТУП

Оперативне планування та ефективне управління режимом функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС) неможливі без достовірного прогнозу навантаження в вузлах розрахункової схеми, що проводиться з упередження від декількох хвилин до декількох діб. Прогноз вузлових навантажень необхідний для оптимізації попередніх і корекції поточних режимів, розгляду оперативних диспетчерських заявок, пов'язаних з виведенням електроенергетичного обладнання в ремонт, для випробувань і т.п. Особливо велике значення дана проблема набуває в зв'язку з переходом до конкурентного ринку електроенергії. Під навантаженнями вузлів розуміється споживання активної та реактивної потужності в схемі заміщення електричної мережі. Величина навантаження у вузлі для кожного моменту часу визначається навантаженнями безлічі приймачів електричної мережі, підключених до цього вузла ЕЕС, і втратами потужності при передачі електроенергії до даного вузла [1].

Необхідність в якісному прогнозуванні обумовлена технологічними і економічними причинами.

Технологічні причини пов'язані з ключовою роллю прогнозування в процесах планування балансів електроенергії та потужності енергосистеми, визначенні режимних параметрів і техніко-економічних показників електроспоживаючих об'єктів і розрахунків електричних навантажень в енерговузла і перетинах. Прогнозування майбутніх показників електроспоживання дозволяє досягти найважливішого принципу формування надійної та ефективної роботи Єдиної енергетичної системи - забезпечення чіткого системного балансу виробництва і споживання електричної енергії за умови одночасної миттєвості цих процесів [1]. Баланс виробництва і споживання електроенергії - основа технологічної стійкості роботи енергосистеми, він визначає системну надійність і безперебійність її функціонування. У разі порушень умови балансу погіршується якість електроенергії (зміна параметрів частоти й напруги мережі), що знижує ефективність роботи електроспоживаючими обладнання кінцевих споживачів.

Економічних причин, що обумовлюють необхідність якісного прогнозування, існує досить багато. Точні розрахунки забезпечують оптимальний розподіл навантаження між електростанціями енергосистеми і підвищують якість електроенергії. Прогнозування і планування показників споживання електроенергії для великих споживачів дозволяє управляти вартістю покупки електроенергії через регулювання завантаження устаткування за допомогою управління виробничими процесами, переводячи основні обсяги споживання електроенергії в години з найменшою вартістю, тим самим знижуючи собівартість виробництва і величину платежів енергопостачальним організаціям.

Згідно з даними правилами учасники ринку повинні здійснювати прогноз свого планового погодинного споживання і за добу, що передують операційним, подавати адміністратору торгової системи погодинну заявку електроспоживання щодо кожної години операційних діб. Значить, всі суб'єкти ринку повинні виконувати прогнози електроспоживання також з почасовою дискретністю на кілька діб вперед [1].

Неякісна подача підприємством-учасником заявок на електроенергію може призвести до значних економічних втрат. Помилки знижують якість управління електропостачанням і погіршують економічність її складних режимів. За відхилення фактичних погодинних показників від прогнозних на учасників накладаються штрафні санкції, що збільшують вартість купівної електроенергії. Це пов'язано з особливістю електроенергії як товару. Заниження прогнозу призводить до необхідності використання аварійних дороговартісних електростанцій. Завищення прогнозу приводить до збільшення витрат на підтримку в робочому стані зайвих резервних потужностей.

У споживача, що здобуває електроенергію на оптовому і (або) роздрібному ринку, з'являється задача складання достовірної заявки на споживання електроенергії на деякий термін вперед. Це пов'язано з тим, що зайве або недостатнє споживання електроенергії, замовляти за попередніми заявками підприємства-споживача, призводить до незапланованих витрат постачальника в точці генерації. Тому збільшення точності

прогнозу навіть на десятки частки відсотка може призвести істотного зниження витрат на оплату відхилень від плану на постачання електричної енергії.

Виходить, що завдання прогнозування має високу актуальність для великої кількості суб'єктів, що функціонують в умовах оптового ринку електроенергії: для гарантованих постачальників, які обслуговують споживачів цілих регіонів, незалежних енергозбутових організацій, які обслуговують окремі промислові підприємства в різних регіонах, і для великих господарюючих суб'єктів, які купують електроенергію на оптовому ринку для потреб власного споживання [1]. Тому якісне прогнозування величин електроспоживання для суб'єктів оптового ринку є економічно доцільним і в сучасних висококонкурентних умовах отримує наростаючу актуальність.

Процес прогнозування електроспоживання зачіпає абсолютно всіх учасників обігу електричної енергії країни. Якість прогнозу безпосередньо впливає на величину кінцевих енерготарифів, що в умовах постійного зростання електроспоживання і низхідній динаміці підвищення тарифів є дуже важливим. Від якості прогнозування на рівні підприємств залежить величина собівартості їх продукції, а отже, і показники ефективності їх роботи. Ефективність роботи підприємств безпосередньо впливає на макроекономічні показники функціонування регіонів, ВРП і електроємність ВРП, які в свою чергу підвищують показники ВВП, електроємна ВВП і інших пов'язаних індикаторів на рівні країни в цілому. Таким чином, прогнозування електроспоживання є ефективним інструментом оптимізації витрат на електроенергію в масштабах як окремих підприємств і регіонів, так і країни в цілому [1].

В процесі своєї діяльності суб'єкти оптового ринку одночасно функціонують у двох впливаючих на них середовищах: технологічній та ринковій.

Технологічне середовище суб'єкта оптового ринку - економічний простір, що діє на суб'єкта з боку факторів, що впливають на графіки електроспоживання, виробничої програми споживачів, особливостей технологічних процесів електроспоживаючих об'єктів. За типом виникнення всі фактори технологічного середовища діляться на метеорологічні та соціально-економічні (табл. 1).

Метеорологічні фактори відображають залежність графіків електроспоживання від погодних явищ, виражаючихся в зміні довготи світлового дня, часу заходу і сходу сонця, температури повітря, а також виникненні атмосферних явищ і опадів.

Соціально-економічні фактори відображають залежність графіка електричних навантажень від показників, викликаних соціально-економічними укладами життєдіяльності і економічної активності, наприклад, від типів днів (робочі, вихідні та святкові), тривалості робочих змін, виробничих програм підприємств, особливостей графіків електроспоживання окремих об'єктів, економічної активності господарюючих суб'єктів. Зазначені фактори умовно можна розділити на три групи: циклічні, природні і випадкові. Ця класифікація походить від характеру виникнення факторів і відображає їх доступність для включення в прогнозуючу модель [2].

Таблиця 1: Фактори що впливають на графік навантаження електроспоживання

Фактори	Соціально-економічні	Метеорологічні
Циклічні	1) Час (год діб) 2) День тижня 3) Тип дня тижня (робочий, вихідний, святковий, предсвятковий)	1) Температура повітря 2) Тривалість світлового дня 3) Час сходу і заходу сонця.
Природні	1) Індивідуальна виробнича програма роботи великих промислових об'єктів, 2) Тривалість опалювального періоду; 3) Використання альтернативних джерел електропостачання, 4) Введення в експлуатацію великих енергоємних об'єктів.	1) Атмосферний тиск, 2) Відносна вологість повітря, 3) Напрям вітру. 4) Швидкість вітру; 5) Хмарність; 6) Опади; 7) Горизонтальна дальність видимості.
Випадкові	1) Аварії на великих промислових об'єктах	1) Різкі кардинальні зміни погодних умов (найбільш впливають: температура повітря і опади)

Ринкове середовище суб'єкта оптового ринку - економічний простір, що діє на внутрішні процеси суб'єкта з боку оптового ринку електроенергії.

До ринкових факторів, що впливає на графік навантаження електроспоживання, як правило, відносять:

- ціни та обсяги попиту та пропозиції;
- ціни і обсяги балансуєчого ринку;
- ринкова кон'юнктура;

- пропозиція і попит ринку;
- конкурентне становище суб'єкта ринку;
- стратегія функціонування суміжних суб'єктів ринку.

З точки зору термінів, прогнозування навантаження підрозділяється на чотири категорії:

1. довгострокове прогнозування із завчасністю більше одного року;
2. середньострокове прогнозування із завчасністю від одного місяця до одного року;
3. короткострокове прогнозування навантаження з завчасністю від однієї доби до декількох тижнів;
4. оперативне прогнозування - від одного до трьох годин і до кінця поточної доби.

Формування прогнозу на підставі прогнозної моделі, представленої на рис. 1, проводиться в три основні етапи [2].

На першому етапі проводиться облік метеорологічних чинників, що впливають на прогнозний графік електроспоживання. Найбільш значущими з цих факторів є: температура повітря, тривалість світлового дня і опади.

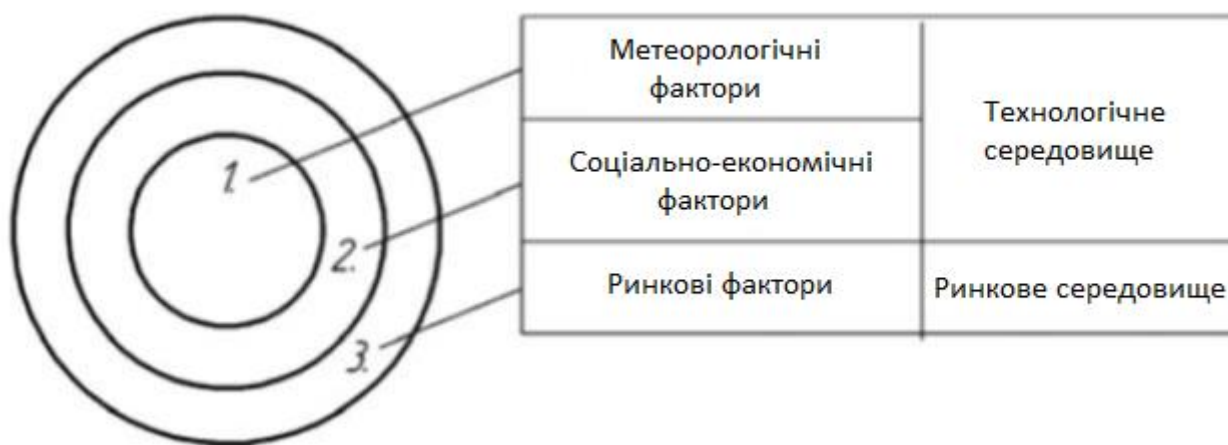


Рис. 1. Графічне зображення факторів і середовищ, з яких повинна складатися модель прогнозування навантаження

Другим етапом побудови прогнозу є облік в прогнозному графіку електроспоживання соціально-економічних чинників. Найбільш значущими соціаль-

но-економічними факторами є вводи в роботу і висновки великих енергоспоживаючих об'єктів, індивідуальні виробничі програми підприємств.

Третім етапом формування прогнозу є врахування чинників ринкового середовища. Він проводиться на базі прогнозного графіка, в якому вже враховані метеорологічні та соціально-економічні фактори.

РОЗДІЛ 1 КЛАСИЧНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

Прогнозування навантажень досить складна задача. По-перше, тому, що ряди електричних навантажень складні і проявляються кілька рівнів сезонності. По-друге, існує багато важливих екзогенних змінних, які повинні бути враховані при прогнозуванні, особливо змінні, пов'язані з погодою.

Прогнозування електроспоживання здійснюється за допомогою різних методів, заснованих на аналізі ретроспективної динаміки електроспоживання і діючих на нього факторів, виявленні статистичного зв'язку між ознаками і на побудові прогнозних моделей з використанням різних методів і програмних засобів.

Перші публікації по методам прогнозування електричного навантаження ЕЕС з'явилися на рубежі десятих-двадцятих років минулого століття [3]. До теперішнього часу розроблено велику кількість методів і моделей прогнозування навантаження ЕЕС. Всі вони можуть бути класифіковані як моделі часових рядів, в яких навантаження моделюється як функція її можна побачити у минулому значень, і причинні моделі, в яких навантаження моделюється як функція деяких екзогенних факторів, особливо погодних і соціальних. Деякі з перших моделей є мультиплікативними авторегресійними, динамічними лінійними або нелінійними моделями, граничними авторегресійну, побудованими на фільтрах Калмана. Другі, як правило, є попередніми функціями Боксу і Джен-Кінсі, оптимізаційними моделями, моделями непараметричної регресії і ін.

Незважаючи на таку велику кількість альтернатив, серед класичних методів найбільшого поширення набули лінійні регресійні моделі та моделі, розкладаючи навантаження на базову або регулярну і залежну від погоди складову. Ці моделі привабливі тим, що вони дозволяють більш точно прогнозувати навантаження в періоди переходу від робочих днів до вихідним і навпаки, в нерегулярні (святкові і примикаючих до них) дні і орієнтовані на існуючий в ЕЕС і ОЕС обсяг ретроспективної інформації [3]. Однак вони є, в основному, лінійними моделями, а ряди навантаження, які вони моделюють - нелінійні функції екзогенних змінних.

Існуючі підходи до прогнозування навантажень в вузлах визначаються в першу чергу, рівнем інформаційної забезпеченості завдання, а саме – достатньою кількістю і достовірністю телеметричних вимірювань режимних параметрів. У практиці зарубіжних ЕЕС, де є достатня ретроспективна інформація про навантаження в вузлах, для їх прогнозування часто застосовують ті ж алгоритми, що і для прогнозування сумарних навантажень ЕЕС. Отримана точність прогнозування виявляється рівнозначною точності вимірювання навантажень підстанцій і є цілком достатньою при плануванні режимів. У випадках недостатності телевимірювань режимних параметрів інформацію для розрахунку вузлових навантажень складають результати контрольних вимірювань, що здійснюються зазвичай два рази на рік (в червні і грудні кожного року) для характерних інтервалів графіків навантаження ЕЕС. Для прогнозування активних вузлових навантажень в даному випадку застосовуються методи, в яких тим чи іншим чином проводиться розподіл сумарних навантажень ЕЕС по вузлах еквівалентної розрахункової схеми електричної мережі. Коефіцієнт пропорційності визначаються по результатам обробки контрольних замірів [3].

У деяких методах будуються математичні моделі, що зв'язують графіки навантажень ЕЕС і окремих вузлів. Найбільшого поширення набули моделі вузлових навантажень, використовуючи лінійний регресійний зв'язок між навантаженнями вузлів і сумарним навантаженням ЕЕС. В цьому випадку при визначенні коефіцієнтів пропорційності враховуються їх сезонні зміни і ієрархічна структура мережі ЕЕС. Для забезпечення балансу вузлових навантажень виникає необхідність врахування втрат потужності в мережах ЕЕС. Для цієї мети застосовуються регресивні моделі другого порядку.

Найбільш перспективним вважають підхід, пов'язуючий завдання прогнозування вузлових навантажень і оцінки стану ЕЕС за даними телевимірювань параметрів режиму ЕЕС при оперативному управлінні. Коефіцієнт пропорційності для вузлових навантажень при цьому можуть визначатися і коригуватися по оціненим вузловим навантаженням, які накопичуються за деякий інтервал часу. Навантаження по

реактивній потужності розраховуються, як правило, на основі прогнозних навантажень активної потужності вузлів за допомогою коефіцієнтів потужності навантаження, які визначаються за результатами обробки контрольних замірів або оцінювання стану ЕЕС.

Найбільш важливими характеристиками моделей при аналізі і виборі найбільш підходящих математичних моделей, адекватним процесам споживання електроенергії, є такі характеристики [3]:

- метод моделювання трендової, сезонної, тижневої складових часового ряду;
- спосіб нелінійного моделювання часового ряду;
- метод моделювання внутрішніх взаємозв'язків між конструктивними компонентами, які визначаються при декомпозиції часових рядів на складові;
- метод моделювання випадкової складової часового ряду;
- спосіб обліку впливу зовнішніх факторів на процес.

Від того який математичний апарат застосовується і яке цільове спрямування, класичні способи прогнозування навантаження можна розділити на три види:

- методи аналітичного прогнозування;
- методи статистичного прогнозування;
- методи імовірнісного прогнозування.

Більшість алгоритмів прогнозування електричного навантаження, розроблених в електроенергетиці, являють собою комбінацію різних методів.

1.1 Аналітичні методи

Аналітичні методи на основі виявлених залежностей (взаємозв'язку об'єкта прогнозування і факторів, що впливають на нього) дозволяють побудувати математичну модель, виражену системою рівнянь. За цієї моделі розраховуються прогнозні значення досліджуваного явища (наприклад, рівня навантаження) при тих чи інших поєднаннях факторів прогнозного фону. Аналітичні методи також називають об'єктивними, експлікативними та казуальними (причинними) [4].

До аналітичних методів відносять метод похідних, підсумовування, операторний метод, і ін.

Аналітичні методи засновані на характеристиці зміни стану системи в минулому і екстраполяції отриманого результату в майбутньому. Вони включають в себе наступні етапи:

- первинну обробку і перетворення вихідного ряду;
- вибір типу емпіричних функцій;
- визначення параметрів емпіричних функцій;
- екстраполяцію;
- оцінку точності.

Аналітичне (математичне) моделювання працює в тому випадку, якщо є модель.

При побудові прогнозу динаміки будь-якої системи за цим методом необхідне отримання повного опису всіх її параметрів, а також їх взаємозв'язку і залежності від зовнішніх для системи чинників.

Моделі прогнозування, які враховують похідні оператора стану, мають невизначеність початкових умов. При стохастичних перешкодах початкова невизначеність зростає, що ускладнює розрахунок параметрів моделі. Внаслідок чого, стає гірше точність прогнозування.

До недосконалості розглянутого методу можна віднести трудомісткість і складність обчислень, які пов'язані з необхідністю вибору і обчислення окремо для кожного параметра аналітичного виразу. До недоліків методів аналітичного прогнозування відносять також неточність результатів прогнозування при неправильному виборі моделі і великий обсяг обчислювальних процедур при прогнозуванні. Тому аналітичні методи практично не використовуються для вирішення завдань прогнозування навантаження в розподільних мережах в зв'язку з великими розмірностями математичних моделей.

1.2 Статистичні методи

Зазвичай статистичні методи можуть досить точно передбачити добовий графік навантаження в звичайні дні, але їм не вистачає здатності аналізувати навантаження в святкові або інші дні, в зв'язку з відсутністю гнучкості їх структури [5]. Статистичні

методи включають множинну лінійну і нелінійну регресію, а також методи, побудовані на основі авторегресійних моделей з лінійним і експоненціальним згладжуванням.

Регресивні методи

Дані методи прогнозування засновані на застосуванні регресійного аналізу (множинної регресії) і є одними з найбільш широко використовуваними статистичними методами. Термін множинна регресія пояснюється тим, що аналізу піддається залежність однієї ознаки (результуючого) від набору (безлічі) незалежних (факторних) ознак.

Регресійний аналіз використовується за двома ознаками.

1. Опис залежності між змінними допомагає встановити наявність можливого причинного зв'язку;
2. За допомогою порівняння регресії можна передбачати значення залежної змінної за значеннями незалежних змінних, що дозволяє визначити предиктор для залежної змінної.

Авторегресійні методи

Авторегресійна (AR-) модель (англ. Autoregressive model) - модель часових рядів, в якій значення часового ряду в даний момент лінійно залежать від попередніх значень цього ж ряду.

Авторегресійні методи зі змінним середнім

Найпростіший метод згладжування рядів – ковзне середнє. Модель авторегресії - змінного середнього (Англ. Autoregressive moving-average model, ARMA) – одна з математичних моделей, що використовуються для аналізу і прогнозування стаціонарних часових рядів в статистиці. Модель ARMA узагальнює дві більш прості моделі часових рядів - модель авторегресії (AR) і модель змінного середнього (MA).

Змінна середня, ковзне середнє (англ. Movingaverage, MA) - загальна назва для сімейства функцій, значення яких в кожній точці визначення рівні середньому значенню вихідної функції за попередній період. Ковзаючі середні зазвичай використовуються з даними часових рядів для згладжування короткострокових коливань і виділення

основних тенденцій або циклів. Математиче ковзне середнє є одним з видів згортки, і тому його можна розглядати як фільтр низьких частот, використовуваних в обробці сигналів.

Авторегресійні методи з експоненціальним згладжуванням

Моделі експоненціального згладжування і прогнозування відносяться до класу адаптивних методів прогнозування, основною характеристикою яких є здатність безперервно враховувати еволюцію динамічних характеристик досліджуваних процесів, підлаштовуватися під цю динаміку, надаючи, зокрема, тим більшу вагу і тим більш високу інформаційну цінність наявними спостереженнями, чим ближче вони розташовані до поточного моменту часу. Сенс терміна полягає в тому, що адаптивне прогнозування дозволяє оновлювати прогнози з мінімальною затримкою і за допомогою нескладних математичних процедур [5].

Експоненціальне згладжування, як і метод ковзних середніх, для прогнозу використовує минулі значення часового ряду. Суть методу експоненціального згладжування полягає в тому, що часовий ряд згладжується за допомогою зваженої ковзної середньої, в якій ваги підкоряються експоненціальним законом.

Метод експоненціального згладжування обчислює значення згладженого ряду шляхом оновлення значень, розрахованих на попередньому кроці, використовуючи інформацію з поточного кроку. Інформація з попереднього і поточного кроків береться з різними вагами, якими можна управляти. При цьому всі попередні значення ряду вносять внесок в поточні згладжені значення, однак їх внесок згасає експоненціально за рахунок зростання ступеня регульованого параметра.

Зважена змінна середня з експоненціально розподіленими вагами характеризує значення процесу на кінці інтервалу згладжування, тобто є середньою характеристикою останніх рівнів ряду. Саме це властивість і використовується для прогнозування.

Існує декілька варіантів даного методу:

- одинарне згладжування для рядів, у яких немає тренда і сезонності;
- подвійне згладжування для рядів, у яких є тренд, але немає сезонності;

- потрібне згладжування для рядів, у яких є і тренд, і сезонність.

Звичайне експоненціальне згладжування застосовується в разі відсутності в даних тренда або сезонності. В цьому випадку прогноз є зваженою середньою всіх доступних попередніх значень ряду, ваги при цьому зі часом геометрично зменшуються в міру просування в минуле (назад). Тому (на відміну від методу змінного середнього) тут немає точки, на якій ваги обриваються, тобто зануляються.

1.3 Імовірнісні методи

Необхідність імовірнісного прогнозування обумовлюється сильним впливом внутрішніх і зовнішніх факторів, що володіють випадковим характером. До методів імовірнісного прогнозування належать метод статистичного градієнта, критерію Байеса, фільтрації, гіпотез і т.д. Для того щоб отримати безперервне прогнозування використовуються фільтри: для прогнозування стаціонарних процесів фільтр Вінера-Хопфа, для нестаціонарних процесів використовується фільтр Калмана.

Рівняння Вінера-Хопфа становить один з найважливіших результатів теорії фільтрації Колмогорова-Вінера [6].

Відомо, методи, побудовані на основі даного рівняння, дозволяють визначати оптимальні параметри фільтра, що забезпечує відтворення корисного сигналу з некорельованим шумом з мінімальною середньоквадратичною помилкою. Якщо при цьому сам корисний сигнал і перешкода є стаціонарними, ергодичні центровані випадкові функції.

Однак ті обставини, що процеси повинні відповідати умовам стаціонарності, ергодичності і мати нульове математичне сподівання різко зменшують їх застосовність. Порушення даних припущень часто може привести до катастрофічного зростання похибки внаслідок необхідності вирішення некоректної погано обумовленої задачі.

Крім того, відомо, що адаптивна регресійна ARMA-модель, в порівнянні з розглянутою в більшості випадків, дає кращий результат похибки в силі своєї адаптивності, хоча в цій моделі явно не враховується нестаціонарність процесу, як у розглянутій моделі. Тому розглянута модель нині має обмежене застосування.

Методи, побудовані на фільтрі Калмана, також має ряд істотних недоліків. Зокрема, алгоритм рекурентної ідентифікації є неасимптотично стійким за Ляпуновим, це означає, що він стає нестійким при сталості вимірних сигналів, тобто при неінформативних вимірах відбувається нагромадження помилок оцінки параметрів моделі. Ця обставина визначає тільки епізодичн застосування даного алгоритму при виникненні в об'єкті динамічних режимів.

Ще одна складність, яка виникає при практичному використанні фільтра Калмана, полягає в проблемі його розбіжності. Основними причинами втрати стійкості фільтра є втрата позитивної визначеності кореляційної матриці внаслідок обчислювальних помилок, або при нестаціонарності чи нелінійності об'єкта, що моделюється і коли параметри рівняння об'єкта апріорі невідомі або відомі з малою точністю. Перераховані проблеми оптимальної фільтрації характерні і для процесів електроспоживання.

Визначення параметрів фільтра вимагає оцінки статистичних характеристик модельованого сигналу і похибки. Крім того, вважають, що ці характеристики незмінні для модельованого процесу (що не завжди вірно для процесу електроспоживання). Облік мінливості характеристик процесу і усунення ефекту розбіжність збільшує число обчислень під час ідентифікації та вимагає інтегрованої настройки фільтра. Це в деяких випадках призводить до розходження фільтра внаслідок помилок обчислень. Інша особливість прогнозу фільтра Калмана полягає в тому, що при моделюванні процесу електроспоживання не реалізується концепція багатовимірного моделювання графіків навантаження.

Результати прогнозування методами фільтра Калмана та ARIMA-моделлю при прогнозуванні електроспоживання дуже близькі між собою, це дозволяє говорити про взаємозамінність моделей [6]. Крім того, показано, що калмановської фільтрація підвищує точність прогнозування при використанні її спільно з моделями типу експоненціального згладжування.

Основне застосування імовірнісних методів в цілому - це виділення і моделювання корисного сигналу на рівні шумів (в тому числі оцінювання стану в різних точках

електричної мережі в реальному масштабі часу, первинна обробка швидко змінюється інформації і т.п.) при цьому процеси лінійні і мають гауссовський характер з відомими характеристиками, а вхідні обурення і шуми не корельовані між собою.

1.4 Інтелектуальні методи прогнозування навантаження

Раніше розглянуті методи прогнозування електричного навантаження на практиці стикаються з певними труднощами. Випадковий, імовірнісний характер змін навантаження енергосистеми є однією з істотних особливостей процесу. Внаслідок наявності випадкової складової, природного зростання навантаження і впливу різних чинників, суворої періодичності в графіках навантаження немає. Внаслідок чого з'являються нові методи для прогнозування навантаження, засновані на штучному інтелекті [7].

Основні переваги інтелектуальних систем прогнозування:

- здатність отримання правильного рішення задачі при наявності неповних і перекручених даних після налаштування параметрів (навчання) мережі;
- можливість врахування великої кількості додаткових факторів, що впливають на якість прогнозування;
- вони володіють стійкістю до перешкод, мають високу швидкодію.

Основним недоліком даних методів є необхідність навчання. Огляди інтелектуальних методів прогнозування навантаження показують, що поряд з успіхами в їх застосуванні, треба ще багато попрацювати, перш ніж ці методи будуть визнані офіційною техніки прогнозування навантаження.

1.5 Експериментальні системи

Залежно від виду використовуваних моделей на нижньому (виконавчому) рівні, інтелектуальні системи управління діляться на два класи: інтелектуальні системи логічного управління і інтелектуальні регулятори. У системах першого класу на виконавчому рівні використовуються логічні моделі (наприклад, автоматні), а в

системах другого класу - моделі традиційної теорії автоматичного управління (регулювання) [8].

Прообразом інтелектуальних систем логічного управління в недавньому минулому служили системи ситуаційного управління. Знання про особливості прийняття рішення диспетчерським персоналом ЕЕС, для якого власне і розроблялися системи ситуаційного управління, використовувалися при пошуку управлінських рішень задовго до появи розвинених програмних систем, орієнтованих на уявлення і обробку знань в системах ситуаційного управління. Важливою особливістю ситуаційного управління є прийняття управлінських рішень на безлічі ситуацій (подій), що виникають в процесі управління. Тому системи ситуаційного управління дійсно були прообразом сучасних інтелектуальних керуючих систем. Процеси прийняття управлінських рішень в розглянутих системах ситуаційного управління аналогічні процесам обробки інформації в будь-якій інтелектуальній та зокрема, експертній системі.

Прогнозні експертні оцінки відображають судження фахівців щодо перспектив розвитку об'єкта і засновані на мобілізації професійного досвіду і інтуїції. Методи експертних оцінок використовуються для аналізу об'єктів і проблем, розвиток яких або повністю, або частково не піддається математичній формалізації, тобто для яких важко розробити адекватну модель.

Типова структура експертної системи може бути представлена наступними блоками: база знань з механізмами міркувань; інтелектуальний вирішувач; інтелектуальний планувальник; підсистема пояснення; інтелектуальний інтерфейс з користувачем (рис. 1.1)

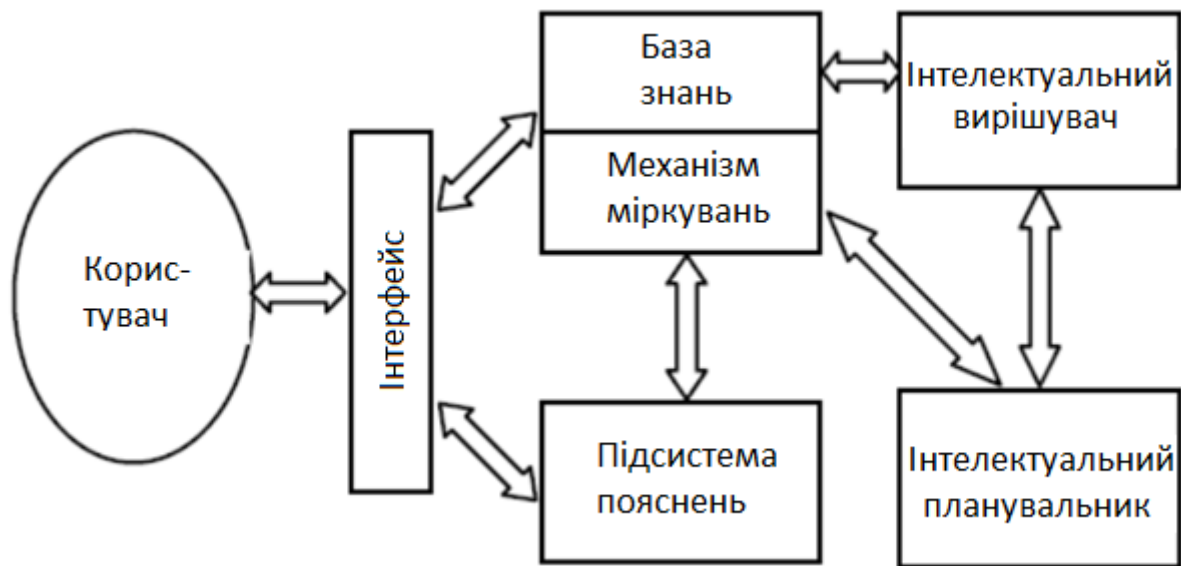


Рис. 1.1. Типова структура експертної системи

Експертні системи можуть істотно відрізнятися за архітектурою і виконуваних функцій, але в них завжди в тій чи іншій мірі присутні зазначені блоки [8].

При цьому найбільш складні функції щодо прийняття рішень на базі механізмів міркувань з використанням інформації з бази знань реалізуються в блоці "Інтелектуальний вирішувач". В експертних системах, безпосередньо включених в контур управління, блок інтерфейсу з користувачем природним чином замінюється на блок інтерфейсу з об'єктом управління.

1.6 Штучні нейронні мережі

Штучні нейронні мережі - це пристрої, засновані на паралельній обробці інформації усіма ланками. Вони мають здатність до навчання і узагальнення накопичених знань. Нейронним мережам притаманні риси штучного інтелекту. Натренований на обмеженій множині даних мережа здатна узагальнювати отриману інформацію і показувати хороші результати на даних, що не використовувалися в процесі навчання [9]. Перевага їх традиційним моделям обумовлено тим, що при цьому не потрібно побудови моделі об'єкта, не губиться працездатність при неповній вхідної інформації.

Вперше для моделювання і прогнозування навантаження припустили метод штучної нейронної мережі в 1991 році. Нейронні мережі, по суті це нелінійні функції, які мають здатність виконання апроксимації нелінійних залежностей. Виход штучної нейронної мережі є лінійними або нелінійними математичними функціями її входів. Входи можуть бути виходами інших мережевих елементів [9].

Перевагою технології нейронних мереж є інтелектуальна обробка, яка може імітувати роботу людського мозку.

Недоліком є те, що процес навчання є відносно повільним, і це не гарантує збіжність між фактичними і прогнозними даними. Крім цього, визначення оптимального набору входних змінних і розміри прихованих шарів слід досліджувати на практиці.

Роль нейронної мережі при вирішенні завдань прогнозування полягає в передбаченні майбутньої реакції системи по її попередній поведінці. Володіючи вихідною інформацією про значеннях досліджуваної змінної в моменти часу, що передують прогнозуванню, нейронна мережа виробляє рішення, яким буде найімовірніше значення прогнозованого параметра в заданий момент часу. Причому процес прогнозування, тобто функціонування нейронної мережі, відбувається досить швидко.

Нейронна мережа - це математична модель людського мозку, що складається з багатьох простих обчислювальних елементів (нейронів), що працюють паралельно, функція яких визначається структурою мережі, а обчислення проводяться в самих елементах.

1.7 Клітинні автомати

У процесі опису фізичного явища за допомогою сукупності диференціальних рівнянь відбувається заміна фізичної реальності, часто носить дискретний характер (молекули в газодинаміці, елементарні заряди в електрики і т. д.), безперервної моделі. При переході до різних схем простір і час в цій безперервної моделі знову стає дискретним, а після реалізації їх на комп'ютері всі величини розглядаються з обмеженою

точністю. Звідси напрошується висновок про те, що доцільно відразу будувати дискретні моделі фізичних явищ [10]. Одним з класів таких моделей є клітинні автомати.

Клітинні автомати є дискретними динамічними системами, поведінка яких повністю визначається в термінах локальних залежностей, в значній мірі так само йде справа для великого класу безперервних динамічних систем, визначених рівняннями в приватних похідних. У цьому сенсі клітинні автомати в інформатиці є аналогом фізичного поняття "поля".

У чистій математиці їх можна виявити як один з розділів топологічної динаміки, в електротехніці вони іноді називаються ітеративними масивами.

Клітинний автомат є математичною моделлю фізичного процесу, в якій час і простір дискретні (сукупність значень, прийнятих просторовими координатами, називається полем клітинного автомата), а всі залежні величини можуть приймати кінцевий набір значень. Клітинний автомат має властивість локальності, тобто на кожному часовому кроці новий стан деякої точки залежить лише від стану точок в невеликій її околиці. Крім того, ця залежність однорідна в просторі, і в кожній точці застосовуються одні і ті ж правила.

Клітинні автомати утворюють загальну парадигму паралельних обчислень, подібно до того, як це роблять машини Тьюринга для послідовних обчислень.

У звичайних моделях обчислень, таких як машина Тьюринга, розрізняють структурну частину комп'ютера, яка фіксована, і дані, якими комп'ютер оперує; вони є змінними. Комп'ютер не може оперувати своєю власною "матеріальною частиною", він не може себе розширювати або модифікувати, будувати інші комп'ютери. У клітинному автоматі і об'єкти, які можуть бути інтерпретовані як пасивні дані, і об'єкти, які можуть бути інтерпретовані як обчислювальні пристрої, збираються з одного типу структурних елементів і підкоряються одним і тим же "дрібнозернистим" законам обчислення і конструювання.

Відомі клітинні автомати не володіють достатнім швидкодією для моделювання неоднорідних динамічних систем у великих масштабах і на докладних сітках. Тому

необхідно подальше вдосконалення даних методів для ефективного прогнозування навантаження розподільних мереж.

1.8 Метод групового обліку аргументів

В даний час велику популярність для задач прогнозування набуває, так званий, метод групового обліку аргументів (МГУА), що представляє собою подальший розвитком методу регресійного аналізу [11]. Він заснований на деяких принципах теорії навчання і самоорганізації, зокрема на принципі "селекції", або спрямованого відбору.

Метод реалізує завдання синтезу оптимальних моделей високої складності, адекватної складності досліджуваного об'єкта (тут під моделями розуміється система регресійних рівнянь). Так, алгоритми МГУА, побудовані за схемою масової селекції, здійснюють перебір можливих функціональних описів об'єкта. Розглядаються різні поєднання вхідних і проміжних змінних, і для кожного поєднання будується модель, причому при побудові рядів селекції використовуються самі регулярні змінні.

Поняття регулярності є одним з основних в методі МГУА. Регулярність визначається мінімумом середньоквадратичної помилки змінних на окремій перевіірочній послідовності даних (вихідний ряд ділиться на навчальну і перевіірочну послідовності). У деяких випадках в якості показника регулярності використовується коефіцієнт кореляції. Ряди будуються до тих пір, поки регулярність підвищується, тобто знижується помилка або збільшується коефіцієнт кореляції. Таким чином, з усієї сукупності моделей вибирається така, яка є оптимальною з точки зору обраного критерію.

1.9 Метод опорних векторів

Метод опорних векторів (SVM - support vector machines) - це метод машинного навчання, метою якого є спроба класифікувати вхідні набори даних в один з двох класів.

Він побудований на основі структурного принципу мінімізації ризику і теорії розмірності [12]. Для ефективної роботи методу спочатку необхідно використовувати навчальну вибірку, що складається з вхідних і вихідних даних, яка необхідна для побудови моделі методу опорних векторів, і яку в подальшому можна буде використовувати для класифікації нових даних.

Метод опорних векторів дозволяє отримати функцію класифікації з мінімальною верхньою оцінкою очікуваного ризику (рівня помилки класифікації). Він також робить можливим використовувати лінійний класифікатор для роботи з нелінійно розділеними даними.

В останні роки при використанні методу опорних векторів новий розвиток отримав спосіб прогнозування на основі регресійних моделей, альтернативний інтелектуальному підходу. Для побудови моделі методу опорних векторів потрібно взяти навчальні вхідні дані, відобразити їх у багатовимірний простір, а потім використовувати регресію, щоб знайти гіперплоскость (поверхню в багатовимірному просторі, яка розділяє його на два підпростори), яка найкраще розділяла б два класи вхідних даних. Після навчання моделі вона здатна класифікувати нові вхідні дані в один з класів за допомогою розділу гіперплощини.

По суті, метод опорних векторів є методом входів / виходів. Теоретично, число входів для методу опорних векторів лежить в діапазоні від одного до нескінченності. Однак, в практичному застосуванні, є певні обмеження на розмір вхідних вибірки, які залежать від обчислювальної потужності.

1.10 Метод інформаційної проходки

Інформаційна проходка (ІП) (Data Mining) - особлива міждисциплінарна область аналізу, що розкриває свій потенціал в процесі пошуку емпіричних закономірностей, спираючись на прикладну статистику, розпізнавання образів, теорії баз даних і штучного інтелекту. У вузькому сенсі під ІП маються на увазі прийоми, способи, алгоритми вилучення ("видобутку", "розкопки") нових, потенційно корисних властивостей даних, процедури виявлення емпіричних закономірностей, взаємозв'язків між змінними у великих масивах [13].

Сюди можна віднести інструменти розпізнавання образів, регресійного аналізу, кореляційного аналізу, факторного аналізу, пошуку асоціацій, викидів, аномалій у даних, а також спеціальні математикостатистичні, евристичні алгоритми і відповідні їм комп'ютерні програми.

Інформаційна проходка являє собою процес, який досліджує інформаційні дані в великій базі даних, щоб виявити правила, знання і т.д. Використання методу ІІ для прогнозування навантажень засноване на застосуванні гібридної моделі, що включає регресію і штучну нейронну мережу. Відповідно до даного методу діапазон зміни навантаження розділяється на кілька класів і визначається до якого класу належить прогнозоване навантаження відповідно до правил класифікації. Потім багат шаровий перцептрон використовується для навчання кожного класу.

На відміну від статистичних методів, які більше зосереджені на теоретичній перевірці гіпотез, і нейронних мереж, заснованих на евристичному навчанні агентів, в методах ІІ відбувається інтеграція теорії і евристики, і концентрація на єдиному процесі аналізу даних, який включає очищення даних, навчання, інтеграцію і візуалізацію результатів.

Оскільки дана технологія є мультидисциплінарною областю, для розробки алгоритмів ІІ необхідно задіяти фахівців з різних областей, а також забезпечити їх якісну взаємодію.

1.11 Хаотичні методи

Як і класична теорія нелінійних коливань, теорія хаосу вивчається поведінкою динамічної системи з допомогою фазового портрета. Однак, в теорії коливань фазовий портрет, будується на основі системи диференціальних рівнянь. У теорії ж хаосу вивчаються об'єкти, для яких система рівнянь не відома, і єдино доступною інформацією про динамічний об'єкт є часовий ряд. В цьому випадку з тимчасового ряду може бути реконструйований фазовий портрет, топологічні властивості якого збігаються з властивостями невідомого нам об'єкта, який генерує спостережуваний ряд. Теоретичною основою реконструкції фазових портретів по часових рядах є спеціальний розділ теорії хаосу, іменований ембедологія, поєднує елементи теорії розмірності, теорії інформації, топології, диференціальної динаміки і теорії динамічних систем [14].

Точного визначення поняттю хаос не існує. Хаос можна характеризувати як крайню непередбачуваність постійного нелінійного і нерегулярного складного руху, що виникає в динамічній системі.

Теорія динамічного хаосу побудована на протиставленні хаотичності та стохастичності (випадковості).

Динаміка хаосу виникла не випадково, хоча і повністю непередбачувана. Непередбачуваність хаосу можна пояснити залежністю від початкових умов. Іншими словами, навіть найменші помилки при вимірах параметрів системи можуть привести до невірних прогнозів. Ці помилки, як правило, виникають через незнання всіх початкових умов.

Хаотичні ряди тільки виглядають випадковими, але, як детермінований динамічний процес, цілком допускають короткострокове прогнозування. Неможливість робити довгострокові прогнози можна пояснити "Ефектом метелика". Неточності в результаті дослідження і розрахунків, на перший погляд, не дуже істотні, можуть привести до невірної роботи системи. Таким чином, початкові умови надають величезний вплив на кінцевий результат.

Теорія хаосу досліджує порядок хаотичної системи і потім будує модель такої системи для кращого розуміння поведінки, не ставлячи перед собою завдання точного прогнозування поведінки хаотичної динамічної системи в майбутньому. Один з головних результатів теорії хаосу, стосовно до прогнозування, можна описати так: "майбутнє передбачити неможливо, так як завжди будуть помилки вимірювання, породжені, в тому числі, і незнанням всіх умов і факторів".

Висновки

Огляд сучасних методів прогнозування навантажень в розподільних мережах дозволяє зробити наступний висновок: одного універсального, що задовольняє всім вимогам, не володіє недоліками методу прогнозування не існує. Кожен підхід і кожен метод мають свої переваги, недоліки, межі застосування.

Таким чином, можна зробити висновок, що для ефективного вирішення завдань прогнозування навантажень в розподільних мережах необхідно використовувати комбінацію різних методів як традиційних, так і інтелектуальних.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Електричне навантаження окремих споживачів, їх кількість в енергосистемі безперервно змінюється. Безперервно змінюється навантаження електростанцій. Цей факт прийнято відображати графіком навантаження, тобто діаграмою зміни потужності (струму) електроустановки в часі. По виду фіксованого параметра розрізняють графіки активної P , реактивної Q , повної S потужностей і струму I електроустановки. Як правило, ці графіки відображають зміни цього параметра за певний період часу. За цією ознакою їх поділяють на [15]:

- добові,
- сезонні,
- річні.

По елементу енергосистеми, до якого вони належать, графіки ділять на групи:

- графіки навантажень споживачів, які визначають на шинах підстанцій;
- мережеві графіки навантажень - на шинах районних і вузлових підстанцій;
- графіки навантаження електростанцій;
- графіки навантаження енергосистеми, що характеризують результуючу навантаження енергосистеми.

Графіки навантаження використовують для аналізу електроустановок, для проектування системи електропостачання, для складання прогнозів електроспоживання, планування ремонтів, а також для ведення нормального режиму роботи.

2.1. Добові графіки навантаження споживачів

При проектуванні систем електропостачання ми повинні враховувати очікуваний графік навантаження. Такий графік називають перспективним. Для його побудови необхідно в першу чергу мати відомості про встановленої потужності електроприймачів, під якою розуміють їх сумарну номінальну потужність. Для активного навантаження [16]:

$$P_{уст} = \sum P_{ном} \quad (2.1)$$

Приєднана потужність на шинах підстанції споживачів:

$$P_{пр} = P_{уст} / (\eta_{ср.п.} \cdot \eta_{ср.с.}) \quad (2.2)$$

де, $\eta_{ср.п.}$ - середній ККД електроустановок споживачів;

$\eta_{ср.с.}$ - середний ККД місцевої мережі при номінальному навантаженні.

У практиці експлуатації, зазвичай справжня навантаження споживачів менше встановленої потужності. Цю обставину враховують коефіцієнтами одночасності k_0 і завантаження $k_з$, які прийнято об'єднувати в одному коефіцієнті - коефіцієнті попиту $k_{спр}$.

$$k_{спр} = k_0 \cdot k_з / (\eta_{ср.п.} \cdot \eta_{ср.с.}) \quad (2.3)$$

Тоді максимальне навантаження споживачів визначають:

$$P_{max} = k_{спр} \cdot P_{уст} \quad (2.4)$$

Коефіцієнти попиту визначають на підставі досвіду експлуатації однотипних споживачів і приводяться в довідковій літературі. Значення максимального навантаження є найбільшим у році і відповідає звичайно періоду зимового максимуму навантаження. Крім P_{max} для побудови графіка необхідно знати характер зміни навантаження споживача в часі, який при проектуванні зазвичай будується за типовими графіками [16].

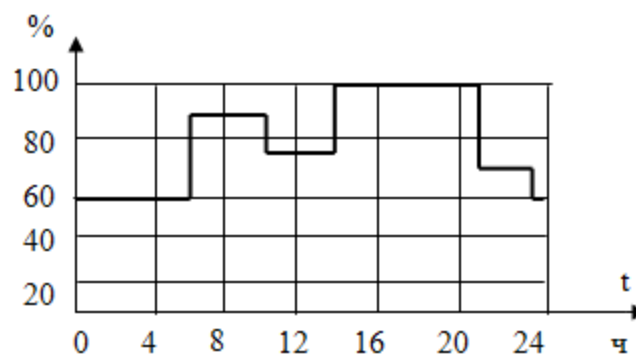


Рис. 2.1. Добові графіки навантаження споживачів

Типовий графік навантаження будується за результатами досліджень аналогічних діючих споживачів і приводиться в довідковій літературі. Для зручності аналізу результатів графік виконується ступінчастим. Найбільше навантаження за добу приймається за 100%, а інші шаблі графіка показують відносне значення навантаження для даного часу доби. При відомому P_{max} можна перевести типовий графік в графік навантаження даного споживача [17].

$$P_{ст} = \frac{n\%}{100\%} \cdot P_{max} \quad (2.5)$$

де, $n\%$ - ордината відповідної ступені типового графіка.

Зазвичай для кожного споживача дається кілька добових графіків, які характеризують його роботу в різні дні тижня і в різний час року. Це типові графіки зимових та літніх діб робочих днів, графік вихідного дня. Основним зазвичай є добовий графік зимового робочого дня. Його максимальне навантаження P_{max} приймається за 100%, а координати всіх інших графіків задаються у відсотках саме цього значення. Крім графіків активного навантаження використовують графіки реактивного навантаження. Типові графіки реактивного споживання також мають ординати ступенів, абсолютного максимуму.

Крім графіків активного навантаження використовують графіки реактивного навантаження. Типові графіки реактивного споживання також мають ординати ступенів, абсолютного максимуму [17].

$$Q_{max} = P_{max} \cdot tg\varphi_{max} \quad (2.6)$$

де, $tg\varphi_{max}$ -визначається по значенню $cos\varphi_{max}$ яке має бути задане як вихідний параметр для даного споживача. Добовий графік повної потужності можна отримати, використовуючи відомі графіки активного і реактивного навантажень.

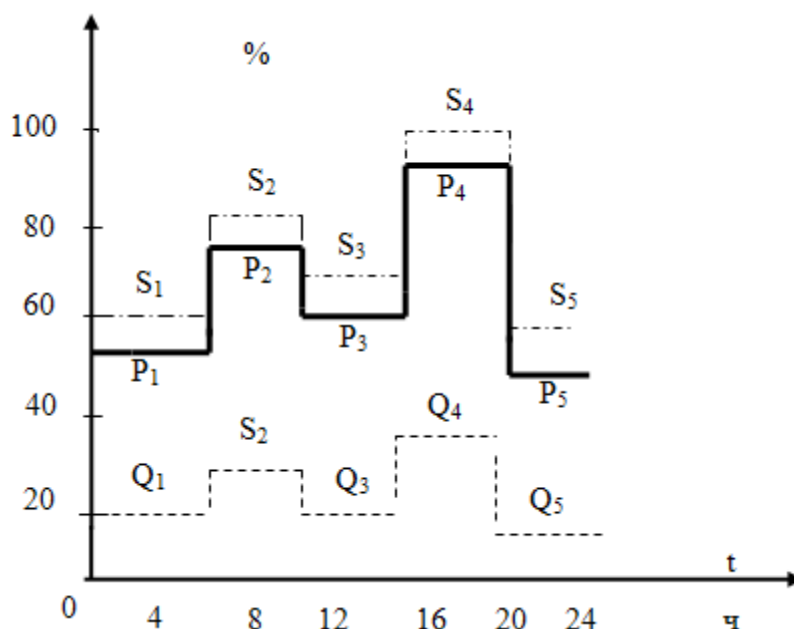


Рис. 2.2. Добові графіки вузлових і районних підстанцій

Значення потужності (повної) по ступеням:

$$S_i \sqrt{P_i^2 + Q_i^2} \quad (2.7)$$

2.2. Добові графіки вузлових та районних підстанцій

Ці графіки навантаження визначаються з урахуванням втрат активної та реактивної потужності в лініях і трансформаторах при розподілі електроенергії. Втрати потужності від протікання струму в лініях і обмотках трансформаторів є змінними величинами, залежними від навантаження. Постійна частина втрат потужності визначається втратами холостого ходу трансформаторів. Таким чином, втрати, які враховуються при побудові графіка навантаження, ділять на постійні та змінні. Тому для кожного елемента мережі, що живиться від вузлової чи районної підстанції потрібно визначити [18]:

- постійні втрати $\Delta P_{p.i}^{\text{пост}}; \Delta Q_{p.i}^{\text{пост}}$
- змінні втрати для максимального режиму елемента мережі (лінії, трансформатори) $\Delta P_{p.i \text{ max}}^{\text{пер}}; \Delta Q_{p.i \text{ max}}^{\text{пер}}$

Величини цих втрат знаходять з використанням методів відомих з курсу «Електричні мережі та системи».

Сумарні втрати для будь-якого ступеня графіка навантаження підстанції можуть бути знайдені з виразу:

$$\Delta P_{p,n} = \sum \Delta P_{p,i}^{\text{пост}} + \Delta P_{p,i \max}^{\text{пер}} (S_{i,n}/S_{i \max})^2; \quad (2.8)$$

$$\Delta Q_{p,n} = \sum \Delta Q_{p,i}^{\text{пост}} + \Delta Q_{p,i \max}^{\text{пер}} (S_{i,n}/S_{i \max})^2. \quad (2.9)$$

де: $S_{i,n}$ - повна потужність i - ого елемента мережі, яка відповідає n - й ступені сумарного графіка навантаження;

$S_{i \max}$ - повна потужність i - ого елемента, що відповідає режиму:

$$\Delta P_{i \max}^{\text{пер}}; \Delta Q_{i \max}^{\text{пер}}$$

$\Delta P_{p,i}^{\text{пост}}; \Delta Q_{p,i}^{\text{пост}}$ - постійні втрати i - ого елемента мережі.

2.3 Добові графіки навантаження електростанцій

Якщо підсумувати графіки навантаження споживачів і втрати електроенергії в електричних мережах в цілому по енергосистемі, отримаємо результуючий графік навантаження електростанцій енергосистеми. Графік навантаження генераторів енергосистеми отримують з графіка потужності, що відпускається з шин станцій, враховуючи додаткові витрати на власні потреби. При значних коливаннях навантаження електростанцій необхідно враховувати змінний характер споживання власних потреб [19].

$$P_{\text{сн}} = (0,4 + 0,6(P_i/P_{\text{уст}}))P_{\text{с.н.мах}} \quad (2.10)$$

де, P_i - потужність, що віддається з шин електростанції;

$P_{\text{уст}}$ - встановлена потужність генераторів;

$P_{\text{с.н.мах}}$ - максимальна витрата на власні потреби, визначається з урахуванням даних таблиці 2.1.

Коефіцієнти 0.4 і 0.6 наближено характеризують відповідну частку постійної і змінної частини витрат на власні потреби $P_{\text{с.н.мах}}$

Таблиця 2.1 Максимальна витрата на власні потреби різних типів електростанцій

Тип електростанцій	$P_{с.н. max} / P_{уст}, \%$
ТЕЦ: пиловугільна	8 - 14
газо-мазутна	5 - 7
КЕС: пиловугільна	6 - 8
газо-мазутна	3 - 5
АЕС с водяним теплоносієм	6 - 12
ГЕС: малої і середньої потужності	3 - 2
великої потужності	1 - 0,5
Підстанції: тупикова	50 - 200 кВт
вузлова	200 - 500 кВт

Слід сказати, що навантаження між окремими електростанціями розподіляється таким чином, щоб забезпечити максимальну економічність роботи в цілому по енергосистемі. Виходячи з цього, диспетчерська служба енергосистеми задає електростанціям добові графіки навантаження. Однак на графіки навантаження електростанцій справляють істотний вплив і фізичні принципи вироблення електроенергії на електростанції. Проблема участі АЕС у регулюванні навантаження виникла у зв'язку з непристосованістю теплових електростанцій до роботи в умовах глибокого розвантаження енергоблоків з надкритичними параметрами. Діючи в даний час АЕС можуть легко брати участь у регулюванні навантаження. Однак, для них слід враховувати, що більші, ніж на ТЕС, капітальні витрати на створення АЕС, мала паливна складова собівартості електроенергії роблять економічно доцільним використання їх у режимі «базового» навантаження [19].

В останні роки були успішно проведені роботи по:

- пристосуванню енергоблоків ТЕС надкритичних параметрів до несення змінних навантажень;
- реконструкції ряду ТЕС для їх роботи в піковому й напівпіковому режимах;
- спорудження в окремих енергосистемах гідроакumuлюючих електростанцій.

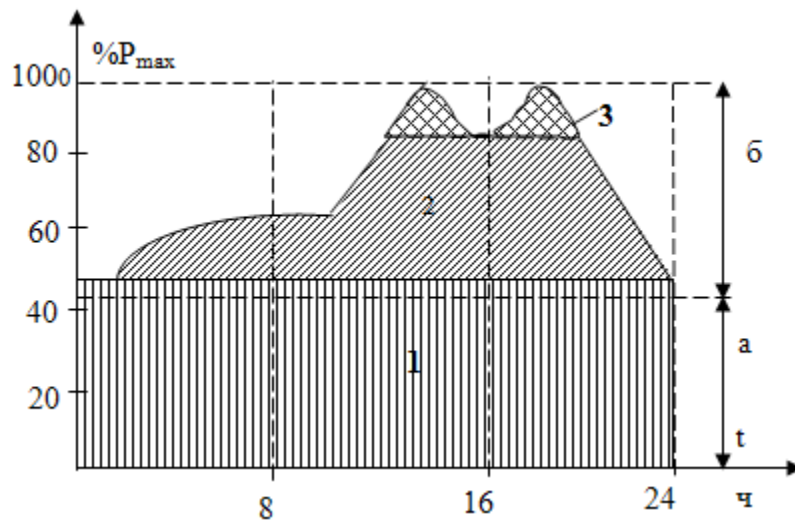


Рис. 2.3. Добовий графік навантаження електроенергетичної системи.

З урахуванням цих обставин на графіку (2.3) показані рекомендації покриття графіка електричних навантажень. У якості регулюючих електричних станцій, що покривають пікову область змінної частини графіка, можуть використовуватися газотурбінні установки та гідроакumuлюючі станції, ГЕС. У напівпіковій області змінних навантажень працюють теплові та гідроелектростанції [19].

Прикладом найбільш правильного використання АЕС в енергосистемі може служити споруджений Південно-Український енергетичний комплекс загальною потужністю 6 млн. кВт. До його складу повинні входити ЮУАЕС - 4 млн. кВт, Ташликська ГЕС потужністю 1.8 млн. кВт і Костянтинівська ГАЕС потужністю 0.38 млн. кВт. При цьому повністю буде забезпечена робота ЮУАЕС в базовому режимі. Аналогічним чином побудований комплекс, що включає Запорізьку АЕС (ЗАЕС - Зах ГРЕС - ДніпроГЕС).

Виходячи з резервування в системі та регулювання її навантаження, вважається, що одинична потужність реакторного блоку не повинна бути більше 10% потужності енергосистеми, в яку він включений. Така вимога до потужності енергоблоку необхідна з таких міркувань: включення і відключення енергоблоку АЕС повинно відносно слабо впливати на роботу всієї енергосистеми.

2.3 Актуальність проблеми прогнозування електричного навантаження

На сьогодні актуальність вирішення питань щодо визначення та оцінки перспективних режимів роботи Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України зумовлено її сучасним станом та неоптимальною структурою генеруючих потужностей. Відомо, що переважна більшість генеруючого блочного обладнання ОЕС України перевищила гарантований експлуатаційний ресурс, є фізично та морально застарілою, а якість виробленої електричної енергії не завжди відповідає європейським нормам і стандартам [20].

Як ніколи гостро, постає проблема розробки оптимальної структури генеруючих потужностей ОЕС України, яка б не лише забезпечувала надійне та якісне енергоспоживання економіки держави, а й враховувала експортний потенціал енергосистеми, що сприятиме її входженню до потужного Європейського енергетичного об'єднання USTE. Все це визначає необхідність і доцільність проведення системних досліджень з формування перспективних графіків електричного споживання економікою держави та графіків електричного навантаження (ГЕН) ОЕС (з урахуванням втрат і графіків навантаження експорту), які є вихідною інформацією для розробки структури генеруючих потужностей, проведення оптимізаційних розрахунків з розвитку енергосистеми тощо. Враховуючи велику інерційність і капіталоемність розвитку паливно-енергетичного комплексу, значні терміни будівництва нових та реконструкції діючих енергетичних об'єктів, постає необхідність перспективного прогнозування.

Вихідна інформація для прогнозування Сумарне електричне навантаження (СЕН), використовуване в якості вихідної інформації для багатьох видів прогнозування, безпосередньо не вимірюється. Воно визначається як алгебраїчна сума телевимірюваних на енергетичних об'єктах (електричні станції та підстанції) сумарних активних генеруємих потужностей електростанцій і активних потужностей міжсистемних перетоків.

СЕН крім вузлових активних потужностей споживання містять також дві складові: перша - сумарні втрати активної потужності (в лініях і трансформаторах) і на корону (у

високовольтних лініях напругою 110 – 750 кВ); друга – активна потужність, споживана в обладнанні власних потреб електростанцій [20]. Телевимірювання складових СЕН з дискретністю кілька секунд надходять в оперативно-інформаційний комплекс (ОІК), в якому з дискретністю в одну годину формуються добові відомості трьох ієрархічних рівнів: обласних енергосистем (ОЕ), регіональних енергосистем (РЕ) і енергооб'єднання.

Телевимірювані складові СЕН не синхронізовані в часі і тому містять динамічну помилку. В результаті відмов вузлів телемеханіки або каналів зв'язку в добові відомості потрапляють аномальні вимірювання та виникають пропуски даних. Виключення аномальних вимірювань і відновлення пропусків краще здійснювати на даних з малою дискретністю.

Необхідна для вирішення задач прогнозування СЕН вихідна інформація поділяється на дві групи: технологічні фактори та метеорологічні фактори. Склад бази даних стосовно до ОЕ України наведено в табл. 2.2.

Табл.2.2 Склад бази даних для прогнозування

Склад інформації	Дискретність	Джерело інформації
<u>Технологічні фактори</u>		
1. Дані про ОЕС України, регіональні ЕЕС, обленерго		
а) споживана потужність		
б) споживана енергія	1 година	НЕК «Укренерго»
2. Дані по 50 енергоємним підприємствам	1 доба	Держенергонагляд
	2 значення за добу	Держенергонагляд
а) потужність в період ранішнього і вечірнього максимумів навантаження	1 доба	НЕК «Укренерго»
ОЕС України	1 місяць	Укргідрометеоцентр
	3 години	Укргідрометеоцентр
б) споживання енергії	1 доба	
3. Дані по структурі електроспоживання по галузям господарства		

4. Інформація про аварійні відключення а) відключена потужність б) енергія за період відключення <u>Метеорологічні фактори</u> 5. Температура повітря по областях 6. Хмарність по областях		
---	--	--

Розроблені обслуговуючі програми бази даних дозволяють здійснювати статистичну обробку і графічний аналіз СЕН, що полегшує процедуру побудови математичних моделей для вирішення задач прогнозування.

2.4 Аналіз графіків електричного навантаження

Типовий добовий графік електричного навантаження, що відображає добові ритми життя суспільства і характерний для багатьох енергосистем (графіки різних енергосистем відрізняються не стільки формою, скільки рівнем навантаження), наведено на рис. 2.4. На такому графіку виділяють три тимчасові зони: зону мінімального навантаження (нічні години, або нічний провал) з потужністю не більше P_{\min} , зону середнього, або напівпікового навантаження з потужністю $P_{\text{пк}}$, такою, що $P_{\min} < P_{\text{пк}} < P_{\text{макс}}$, і зону максимального, або пікового навантаження з потужністю не більш $P_{\text{макс}}$. Напівпікова зона характеризується одноразовим протягом доби значним зростанням навантаження у ранкові години і її глибоким спадом у кінці доби, а пікова - поруч відносно невеликих підйомів (до рівня максимального навантаження) і спадів (до рівня напівпікової зони) навантаження в денні години доби [21]. У ній зазвичай присутні один або два максимуми споживання електроенергії: ранковий і вечірній.



Рис. 2.4. Типовий добовий графік навантаження енергосистеми

Перший пов'язаний найчастіше з ранковою зміною роботи промислових підприємств, а другий являє собою поєднання споживання вечірньої зміни підприємств зі споживанням електроенергії в житловому секторі та сфері побутового обслуговування населення. Тому другий пік нерідко перевищує за своєю величиною перший. У загальному випадку ДГН енергосистеми має провали, підйоми, спади і піки, що чергуються між собою і які визначають в цілому його нерівномірний (нерівний) характер.

2.5 Властивості ортогональних перетворень (вейвлет-аналізу) графіків електричних навантажень (ГЕН)

Однією із найкращих технологій аналізу інформації на сьогоднішній день є вейвлет-аналіз, який знайшов застосування у найрізноманітніших сферах діяльності. Розглянемо детальніше деякі приклади застосування вейвлетів при виконанні задач, пов'язаних із обробкою інформації. Очистка сигналу від шуму являється актуальною задачею цифрової обробки сигналів. Як відомо, окрім корисної інформації будь-який

сигнал містить також деякі по сторонні впливи, такі як шум, завади та ін. Модель такого сигналу можна записати наступним чином [22]:

$$s(t) = f(t) + \sigma e(t) \quad (2.11)$$

де $s(t)$ – досліджуваний сигнал;

$f(t)$ – корисний сигнал;

σ – рівень шуму;

$e(t)$ – шум.

В основному вважають, що інформація про завади міститься у високочастотній області спектру сигналу, а корисна інформація – у низькочастотному, так як функцію $e(t)$ можна описати як модель гаусівського шуму. При використанні такої моделі видалення шуму відбувається за допомогою вейвлет-перетворень та виконується в декілька етапів:

1. розклад сигналу по базису вейвлетів;
2. вибір для кожного рівня розкладу порогового значення шуму;
3. порогова фільтрація коефіцієнтів деталізації;
4. реконструкція сигналу.

Така методика найкраще працює на сигналах, в розкладі яких лише невелика кількість коефіцієнтів деталізації відрізняється від нуля. Такі сигнали називають гладкими. Від властивостей конкретного сигналу залежить глибина розкладу та вибір використовуваного вейвлету. Декілька корисних порад:

- більш гладкі вейвлети створюють більш гладку апроксимацію сигналу і навпаки;
- глибина розкладу впливає на масштаб відсіяних деталей.

Згладжену версію вихідного сигналу можна отримати при подальшому збільшенні глибини сигналу [22].

Проілюструємо вище зазначене на рис. 2.5, 2.6, 2.7.

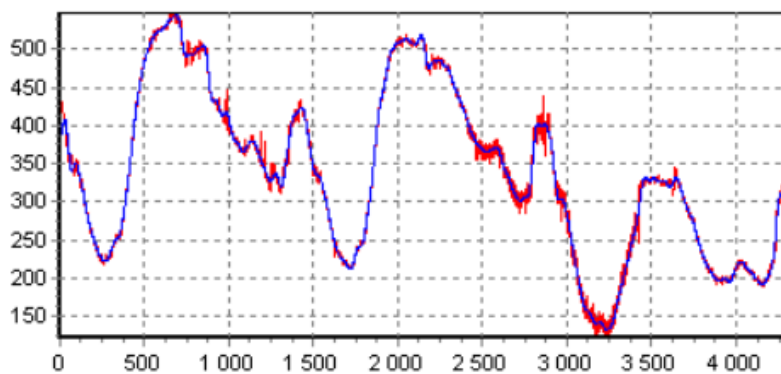


Рисунок 2.5 – Вейвлет Добеши 7-го порядку, 5 рівнів розкладу

На рис.2.5 зображено результат очистки деякого зашумленого сигналу з допомогою гладкого вейвлета (Добеши 7-го порядку, 5 рівнів розкладу) [22].

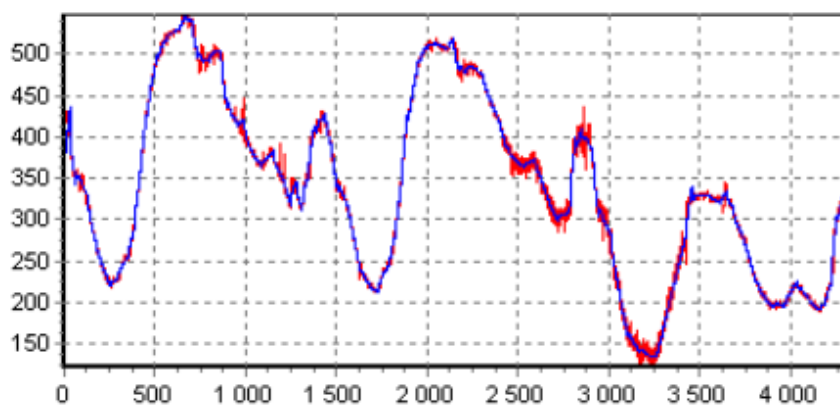


Рис.2.6 зображує те ж саме, що і рис.3, але з використанням більш короткого вейвлета (Добеши 2-го порядку, краще відслідковує піки сигналу) [22].

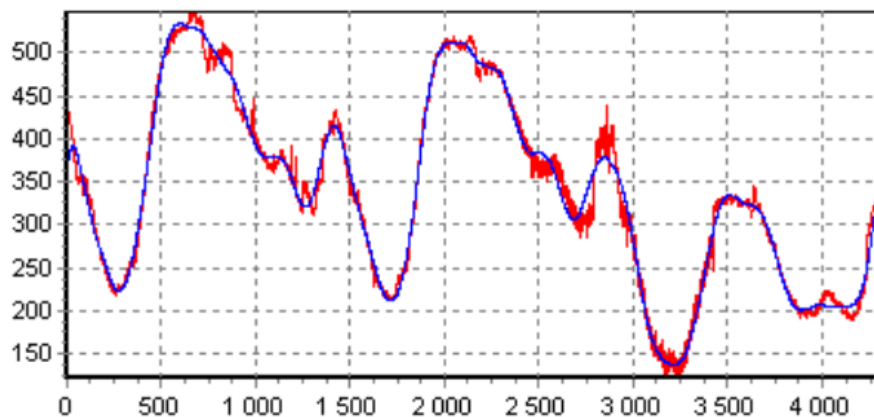


Рисунок 2.7 - Вейвлет Добеши 7-го порядку, 7 рівнів розкладу

На рис.2.7 зображено результат «перебільшення» сигналу (7 рівнів розкладу, згладжуються локальні особливості сигналу) [22]. Існують певні критерії, які використовують при виборі порогу шуму (етап 2). Вони мінімізують квадратичну функцію втрат для вибраної моделі шуму. Для прикладу приведемо «універсальний» критерій, який підходить для моделі гаусівського шуму з маточікуванням 0 і дисперсією 1:

$$\Theta = \sqrt{2 \ln(n)} \quad (2.12)$$

де n – корисний сигнал;

Θ – шум.

Якщо рівень шуму відрізняється від 1, то значення порогу повинно бути масштабоване на цю величину. Метод «м'якої» порогової фільтрації використовують для фільтрації коефіцієнтів деталізації. При цьому коефіцієнти, абсолютне значення яких менше порогового обнулюються, а інші – прирівнюються до нульового значення на величину порогу.

$$f(n) = \begin{cases} x + \Theta, & \text{якщо } x < 0 \text{ і } |x| > \Theta \\ x - \Theta, & \text{якщо } x > 0 \text{ і } |x| > \Theta \\ 0, & \text{якщо } |x| \leq \Theta \end{cases} \quad (2.13)$$

де x – значення коефіцієнта до фільтрації;

Θ – поріг.



Рисунок 2.8 – Поріг

Наступною корисною функцією вейвлет-аналізу є стиснення інформації.

В основі такого стиснення лежить підвищення ентропії сигналу, тобто виключення надлишкової інформації. Якщо сигнал містить багато значень, які повторюються, то

ступінь його стиснення буде вище. Стиснення вейвлет-розкладів сигналу є більш ефективним, ніж стиснення вихідного сигналу. Однією із причин є те, що для гладких сигналів більшість коефіцієнтів деталізації близькі до нуля. Застосування методики обнулення коефіцієнтів дозволяє реалізувати стиснення з втратами (в допустимих межах) з більшою ефективністю. Стиснення сигналів з використанням вейвлет-перетворень схоже на очистку сигналу від шуму, за винятком таких особливостей:

1. Необхідність у використанні інших критеріїв вибору порогу. Можна використовувати критерій балансу між кількістю нульових коефіцієнтів і остаточною енергією сигналу. Суть методу полягає в тому, що коефіцієнти деталізації з абсолютним значенням близьким до нуля містять лише невелику частину енергії сигналу. Незначні втрати енергії є результатом обнулення цих коефіцієнтів. Оптимальним є таке значення порогу, при якому відсоток обнулених коефіцієнтів деталізації буде приблизно дорівнювати відсотку остаточної енергії сигналу після порогової фільтрації. Підвищення порогу підвищує ступінь стиснення, але зростають втрати якості. Зниження порогу зменшує втрати при стисненні, але також зменшує ефективність [23].

2. Коефіцієнт апроксимації в розкладі сигналу буде близький до нуля, якщо сигнал не містить великомасштабних (низькочастотних) складових або їх енергія не велика. При стисненні порогову фільтрацію краще використовувати не для кожного рівня розкладу, а для всіх розкладів в цілому.

3. Рекомендовано використання «жорсткої» порогової фільтрації. Коефіцієнти, абсолютне значення яких не перебільшує порогового значення, - обнулюються, а всі інші не змінюються. Такий метод більш точно зображує різкі зміни сигналу і зберігає більшу кількість енергії в реконструкції сигналу.

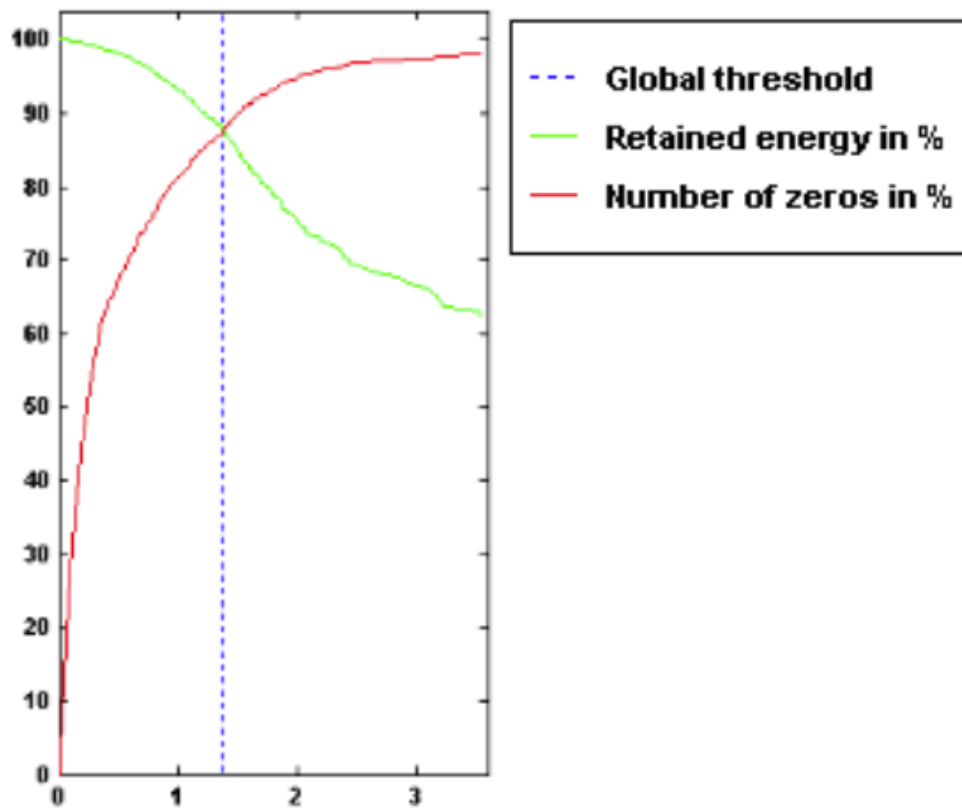


Рисунок 2.9 – Метод балансу енергія – ентропія

4. Вейвлет-перетворення являють собою лише метод первинної обробки сигналу для підвищення ефективності його стиснення. Безпосередньо стиснення виконується після цієї попередньої обробки класичними методами [24]. Вейвлет-перетворення є засобом кратномасштабного аналізу. Такий аналіз дозволяє розглядати досліджуваний сигнал з різними масштабами. З одного боку, аналіз дозволяє виділити короточасні локальні особливості сигналу, які є непомітними на фоні його глобальних змін. З другого боку – можна «відфільтрувати» незначні високочастотні зміни сигналу, зосередившись на вивченні його глобальних змін. Ще однією із корисних функцій вейвлет-перетворень є можливість розпізнавати локальні короточасні особливості сигналу, які неможливо виявити при його дослідженні класичними методами. Наприклад, збій в показниках датчиків або подряпини на дзеркальній поверхні. Розглянемо синусоїдальний сигнал, що має невелике локальне спотворення. На спектрограмі сигналу це ніяк не позначиться, але на діаграмі коефіцієнтів деталізації ця особливість чітко виражена (рис.2.10).

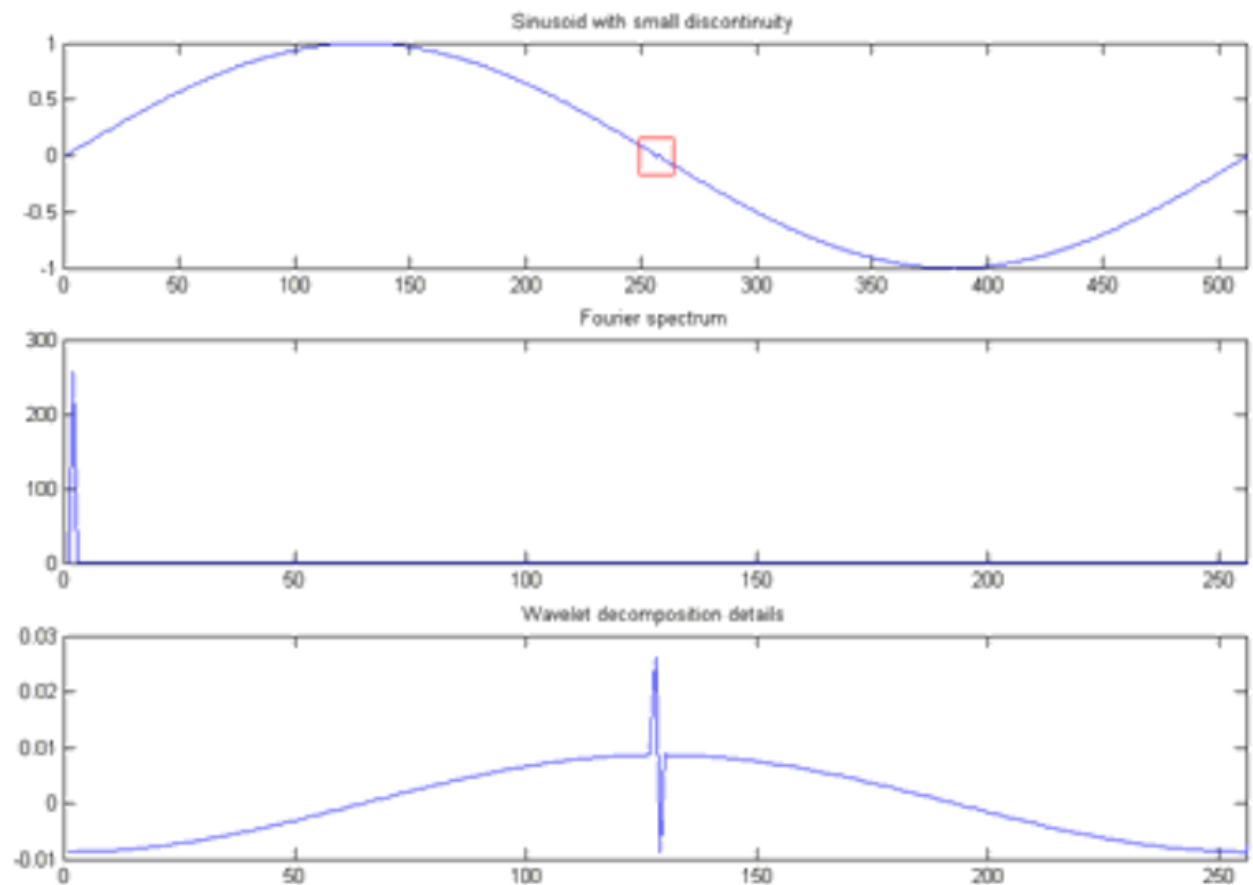


Рисунок 2.10 – Аналіз синусоїди з невеликим спотворенням

Наступним прикладом є порушення безперервності другої похідної сигналу. Графік цієї функції виглядає як гладка крива, але насправді складається з двох експоненціальних компонентів, які поєднуються в точці $t = 500$. Безперервність порушується тільки в другій похідній і цей момент добре помітний на графіку вейвлет-розкладу.

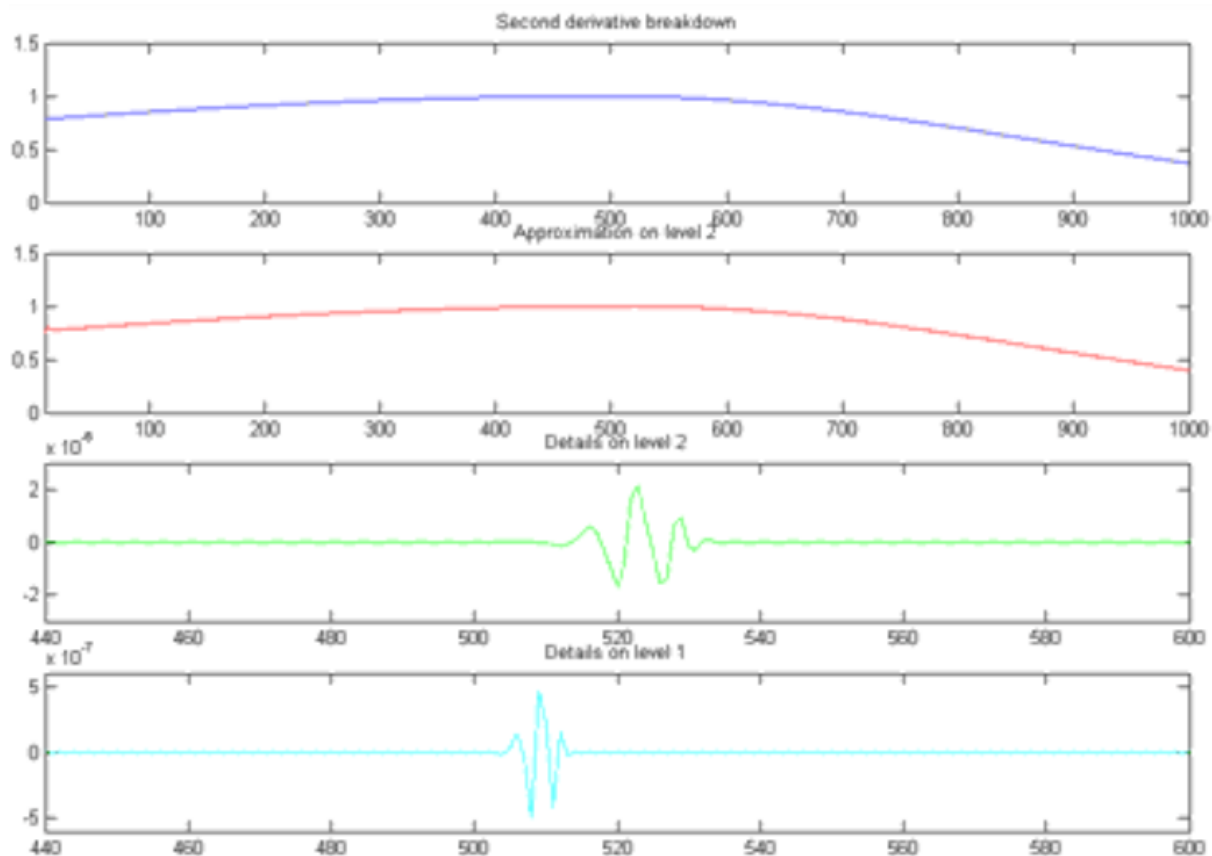


Рисунок 2.11 – Аналіз довготривалої еволюції

Виявити довготривалу еволюцію можна на прикладі монотонно зростаючої функції, яка сильно спотворена шумом – настільки, що цю властивість майже не помітно. Проте вже на шостому рівні перетворення вейвлет-апроксимація показує характер довготривалої зміни функції, виділяючи шум в коефіцієнти деталізації [25]. Багато корисної інформації можна отримати із аналізу частотних характеристик сигналу при його дослідженні та обробці. Вейвлети можуть слугувати зручним інструментом для дослідження частотних характеристик сигналу, так як вони володіють хорошою частотно-часовою адаптацією. Окрім того, чим більше масштаб вейвлет-перетворення, тим більш низькі частоти аналізуються. Однак, необхідно визначити відповідність між масштабом вейвлету і його частотними характеристиками при практичному застосуванні вейвлетів в спектральному аналізі сигналів.

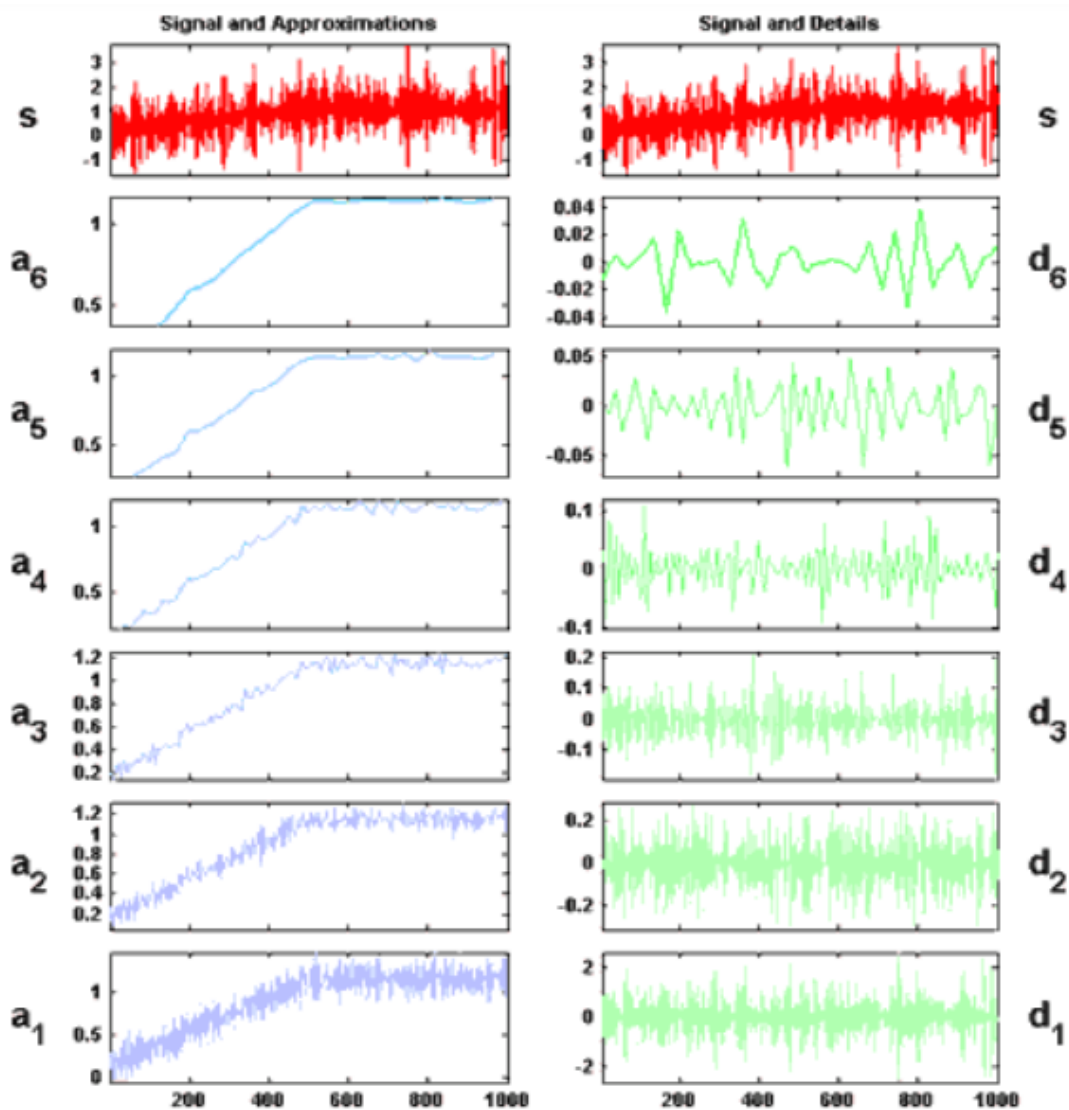


Рисунок 2.12 – Аналіз довготривалої еволюції Розглянемо декілька молодших спектри вейвлетів Добеши.

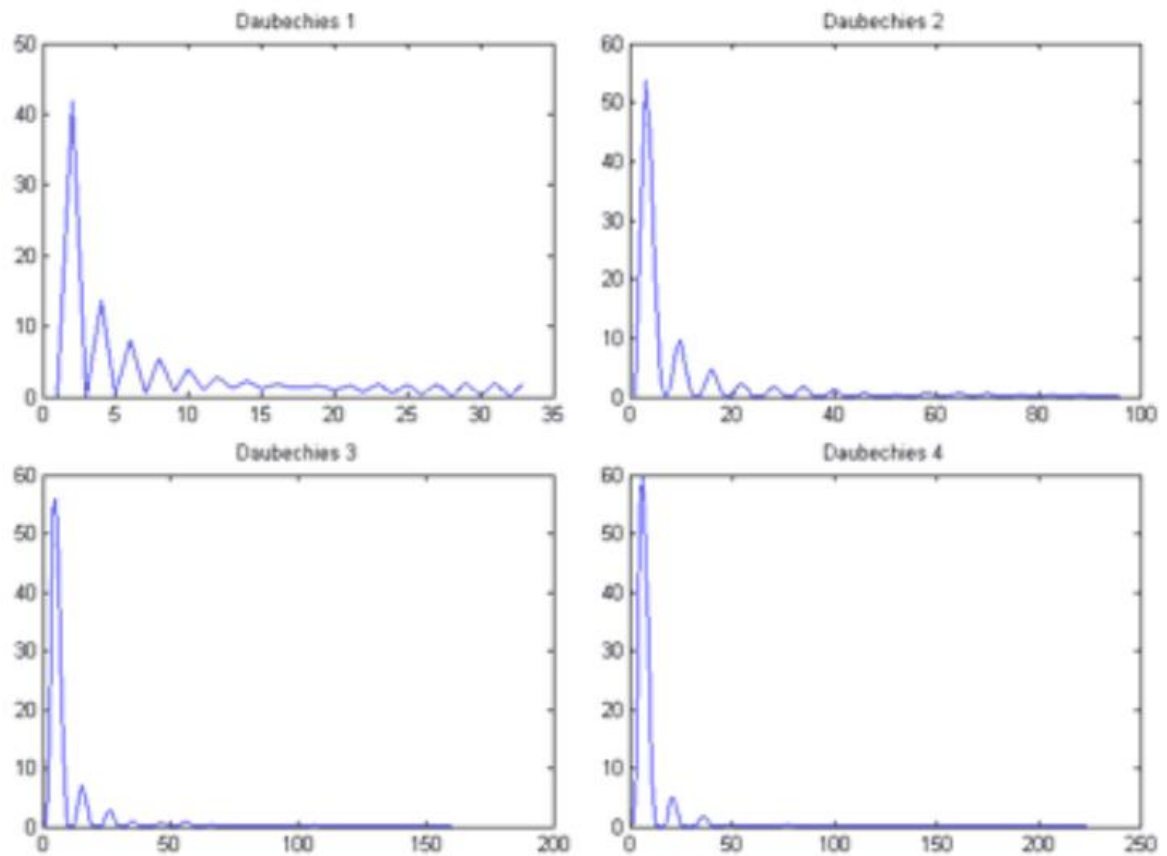


Рисунок 2.13- Спектри вейвлетів Добеши порядку від 1 до 4

На спектограмах чітко видно пік в низькочастотній області, в той час як амплітуда інших складових спектру близька до нуля. Вейвлети можуть виділяти із сигналу складові, частота яких відповідає їх піку, тому що являються вузькосмуговими фільтрами. Зміна масштабу вейвлета призводить до пропорційної зміни його центральної частоти [26]:

$$Fa = \frac{\Delta \cdot F_c}{a} \quad (2.14)$$

де Fa – частота на масштабі 1;

F_c – центральна частота вейвлета на масштабі 1;

Δ - період дискретизації.

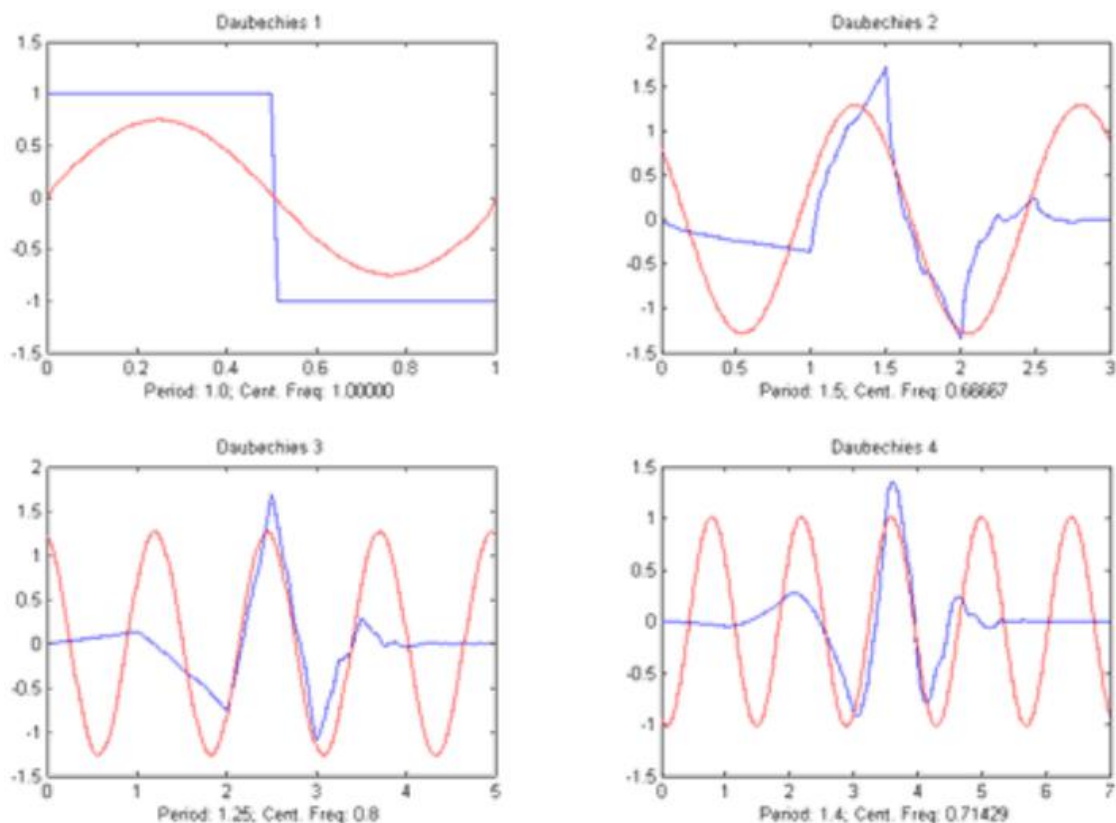


Рисунок 2.14 – Вейвлети Добеши порядку 1-4 і їх центральні частоти

Змінюючи масштаб вейвлет-перетворення можна перекрити весь частотний діапазон досліджуваного сигналу. Також можна отримати інформацію про спектр в кожній точці сигналу за рахунок хорошої часової локалізації вейвлет-перетворення. Застосування вейвлетів не обмежується перерахованими задачами. Найбільш активне застосування вейвлети знайшли в статистичній обробці, криптографії і стенографії, обробці мультимедійної інформації та ін.

Висновки

Визначено, що вейвлет-аналіз є одним з найкращих технологій аналізу інформації на сьогоднішній день та є засобом кратномасштабного аналізу. Наведено опис декількох функцій вейвлет-аналізу для стиснення та обробки інформації. Розглянуто застосування кратномасштабного аналізу для аналізу графіка електричних навантажень.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вектор ознак кластеризації ГЕН формується таким чином (рис. 3.1). У вейвлет-спектрі, сформованому на основі вейвлет - пакетів, усереднюється потужність розрахованих вейвлет - коефіцієнтів (апроксимуючих і деталізують) в межах кожної субполоси розкладання (k і m, n). Усереднені коефіцієнти (P_m, n) нормуються і, відповідно до їх місцями в загальній піраміді вейвлет - пакетів (зліва - направо і зверху - вниз), перетворюються в вектор ознак кластеризації Y [27].

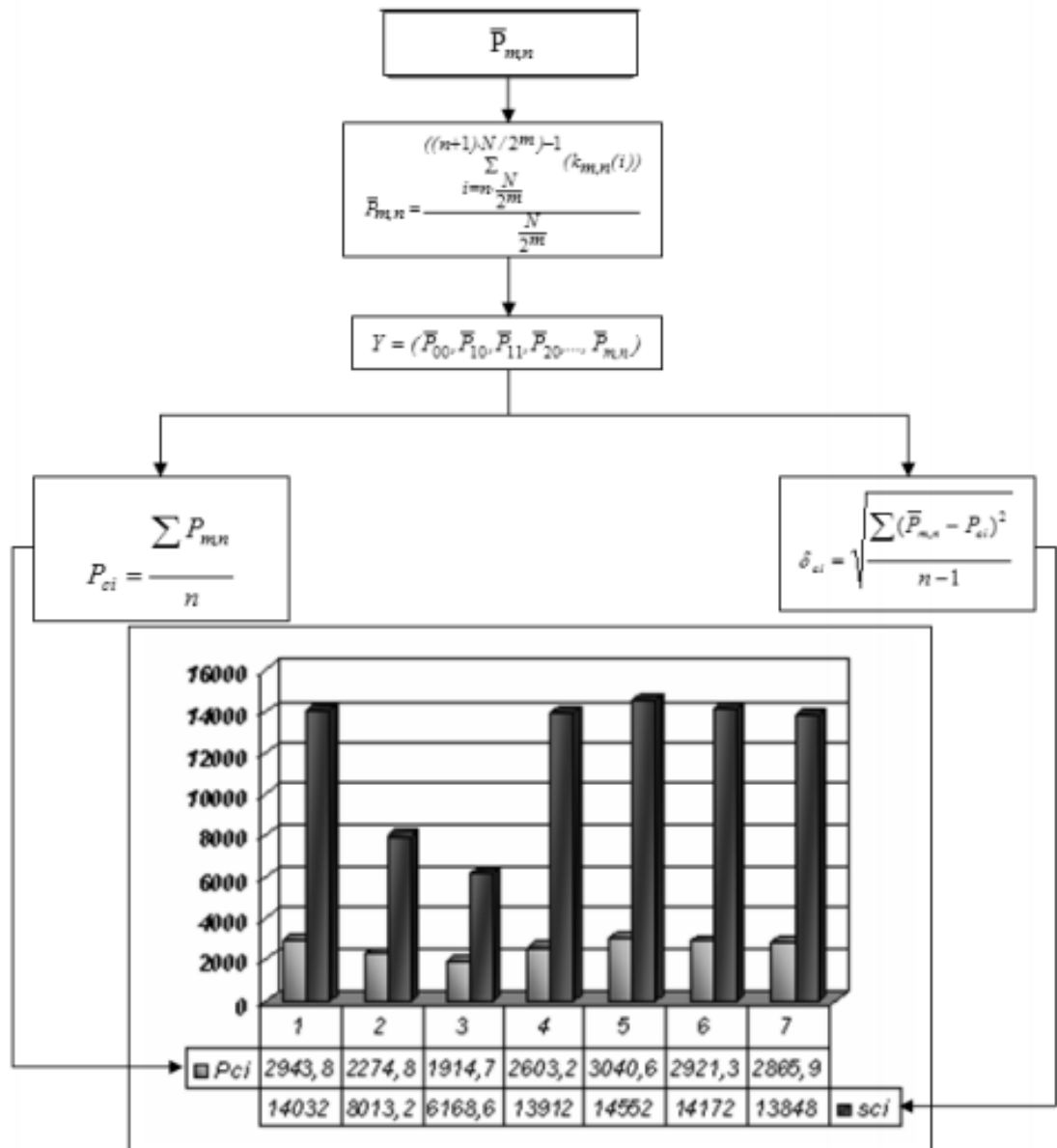


Рис. 3.1. Розрахунок базисних параметрів перетворених вибірок даних:

m - крок розкладання;

N - загальна кількість вейвлет - коефіцієнтів на m - му кроці розкладання;

n - порядковий номер вейвлет - коефіцієнта на певному етапі розкладання;

k, m, n - значення вейвлет - коефіцієнта на 5-му кроці розкладання.

Спочатку визначається вид закону розподілу нормованих коефіцієнтів вектору ознак. Передбачається, що члени ряду (вектор ознак) незалежні один від одного і носять випадковий характер. Для встановлення закону розподілу розраховуються основні характеристичні параметри ряду - середнє значення (P_{ci}) і середнє відхилення (δ_{ci}) [28]. Аналіз отриманих значень показав, що закон розподілу даних вектору ознак є нормальним. Це буде враховуватися при проведенні подальших досліджень.

Часто для оцінки ступеня відхилення щодо середнього значення використовується коефіцієнт варіації, який, на відміну від середнього квадратичного або стандартного відхилення, характеризує не абсолютну, а відносну міру розкиду значень ознаки в статистичній залежності.

При цьому використання коефіцієнта варіації дозволяє: порівняти варіацію однієї і тієї ж ознаки різних груп об'єктів; виявити ступінь відмінності одного і того ж ознаки в однієї і тієї ж групи об'єктів в різний час; зіставити варіацію різних ознак у одних і тих же груп об'єктів [28].

Коефіцієнт варіації визначається як:

$$\gamma = \frac{\delta_i}{P_{ci}} \quad (3.1)$$

У зв'язку з тим, що коефіцієнт варіації не в повній мірі відображає класові відмінності між ГЕН, як зазначається в, з використанням неможливо провести чітку кластеризацію даних. Більш ефективним показником для кластеризації даних є наступний коефіцієнт:

$$\beta = \frac{D_i}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n}}, \quad (3.2)$$

де D_i - дисперсія, яка визначається за виразом.

$$D_i = \sum_{i,j=1}^{m,n} (P_{m,n} - P_{ci})^2. \quad (3.3)$$

Результати аналізу семи ГЕН представимо графічно (рис. 3.2).

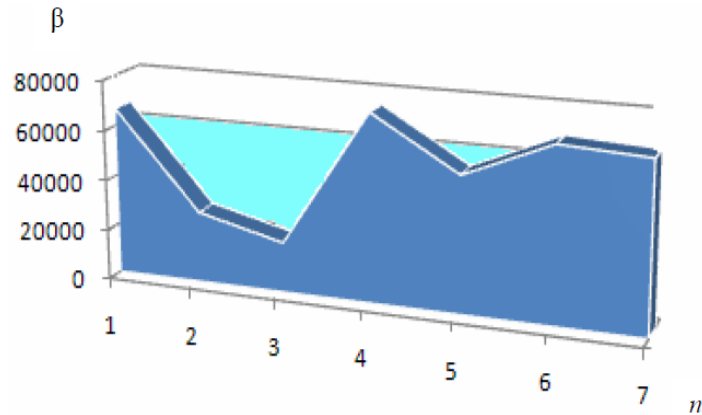


Рис. 3.2. Кластеризація ГЕН по адаптивному коефіцієнту ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень

Як показали результати проведення кластеризації з урахуванням адаптивного коефіцієнта ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень, формуються дві групи варіаційних рядів [28]. Отримані групи відповідають різним видам графіків споживання, а значить, і є рішенням поставленої задачі. Віднесення до певної групи проводиться на основі наступного виразу:

$\beta \leq \beta_{\text{пред}}$ и $\beta > \beta_{\text{пред}}$, де $\beta_{\text{пред}}$ - граничне значення.

$$\beta_{\text{пред}} = \frac{1}{2} \left(\frac{D_{B\max}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,nB\max}} + \frac{D_{p\max}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,np\max}} \right) \quad (3.4)$$

де $D_{\text{вmax}}$ і $D_{\text{рmin}}$ - дисперсії відповідно максимального споживання вихідного дня і мінімального споживання робочого дня; $\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\text{вmax}}$ і $\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,np\text{min}}$ – суми середніх значень потужності відповідно максимального споживання вихідного дня і мінімального споживання робочого дня.

Для наведеної вибірки вихідних даних характерні діапазони відмінності. Формування діапазонів вважається завершеним, якщо визначені граничні значення меж.

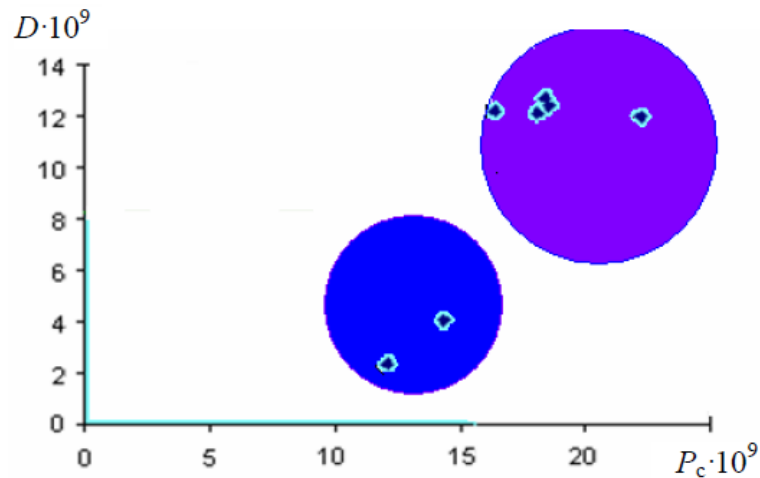


Рис. 3.3. Кількісне відношення між дисперсією D і сумарними значеннями ГЕН P_c

Слід зазначити, що при визначенні граничного критерію кластеризації для даного об'єкта вибірка вихідних даних повинна мати представницький характер, тобто включати в себе дані для різних періодів споживання (наприклад, зимовий і літній період) [28]. Таким чином, розрахована межа буде визначена оптимально і відповідає умовам вибору. У разі зміни обсягів споживання електроенергії отримана точність забезпечить його застосовність для подальшого використання.

Для визначення граничного значення коефіцієнта $\beta_{\text{пред}}$ обсяг вихідних даних залежить від кількісного значення величини ряду і величини відхилення щодо середнього значення. З урахуванням того, що обсяг вибірки незначний для оцінки ступеня кореляції розглянутих величин, застосовується формула (3.5):

$$r_{P_c D} = \frac{N \sum P_{ci} D_i - \sum P_{ci} \sum D_i}{\sqrt{N \sum P_{ci}^2 - (\sum P_{ci})^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{N \sum D_i^2 - (\sum D_i)^2}}. \quad (3.5)$$

В результаті математичних дій визначається наявність зв'язку між величинами, отримане значення $r_{P_c D} = -0,12$ відповідає слабкою кореляційної зв'язку. Даний результат підтверджує необхідність застосування додаткового показника, який би відображав вплив двох розглянутих змінних. Перевіримо обґрунтованість використання адаптивного коефіцієнта ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень.

Вивчення апаратів оцінки математичної статистики і теорії класифікації показало, що за результатами кластер-аналізу об'єкти розбиваються на групи [28]. Для здійснення такого аналізу необхідно оперувати наступними математичними характеристиками:

- центром кластера z_j ;
- радіусом D_j .

На першому етапі обчислюється положення центрів кластерів:

$$Z_{Dj} = \sqrt[N_{Dj}]{\prod_{i=1}^{N_{Dj}} D_i} \text{ і } Z_{Pj} = \sqrt[N_{Pj}]{\prod_{i=1}^{N_{Pj}} P_i}, \quad (3.6)$$

де N_{Dj} і N_{Pj} - відповідно кількість значень дисперсій і сумарних середніх значень потужності. В результаті центр кластера становить z (z_{Pj} ; z_{Dj}).

На другому етапі обчислюється радіус кластера, який відповідає допустимому розкиду значень вибірки даних щодо центру кластера таким чином, щоб виконувалася умова кластерного відповідності розглянутого ряду. У математичному вигляді радіус кластера описується виразом:

$$D_j = \sqrt{(\max(D_i - Z_{Dj}))^2 + (\max(P_{ci} - Z_{Pj}))^2}. \quad (3.7)$$

Отримані розрахункові значення змінних у виразах (3.6) і (3.7) зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Математичні характеристики кластера

	P_c	$D \cdot 10^9$	$\bar{D}_p \cdot 10^9$
z_p	1,75	8,85	6,46
z_e	1,53	7,02	5,17

На підставі даних наведеної вище таблиці оцінюється відповідність значень перевірконої вибірки даних встановленим класам.

Для цього керуються критерієм:

$$D_j \geq \sqrt{(D_i - Z_{Dj})^2 + (P_{ci} - Z_{Pj})^2} \quad (3.8)$$

Якщо умова виконується, розглянута вибірка даних належить даному класу. В протилежному випадку перевіряється її відповідність сусіднього класу. Результати такого порівняння представлені в табл. 3.2. З них випливає, що до першої групи

належать всі значення вибірки, крім третьої. При порівнянні дисперсій табл. 3.1 і 3.2 було встановлено класове відповідність першої та другої групи. Можна зробити висновок, що запропонована модель забезпечує виконання умов кластеризації.

Таблиця 3.2. Результати перевірки кластеризації

$\overline{D}_p \cdot 10^9$	$\overline{D} \cdot 10^9$	Перевірка
6,5	5,1	+
	5,95	+
	8,43	-
	6,18	+
	5,76	+
	5,82	+

Здійснимо ще одну перевірку достовірності встановлених меж, як це було представлено на рис. 3.2. Графічно результат такої перевірки представлений на рис. 3.4. Певні значення β формують кластери у вигляді областей, кордони яких задаються діапазонами. При встановленні класового відповідності вибірок даних ті, які належать до однієї групи, в дійсності належать до групи ГЕН, подібних за формою [28].

При використанні інформативного кількості вибірок визначається частота потрапляння ГЕН в заданий діапазон. При дотриманні збереження черговості введення даних можна також встановити повторюваність характеру навантаження (рис. 3.4).

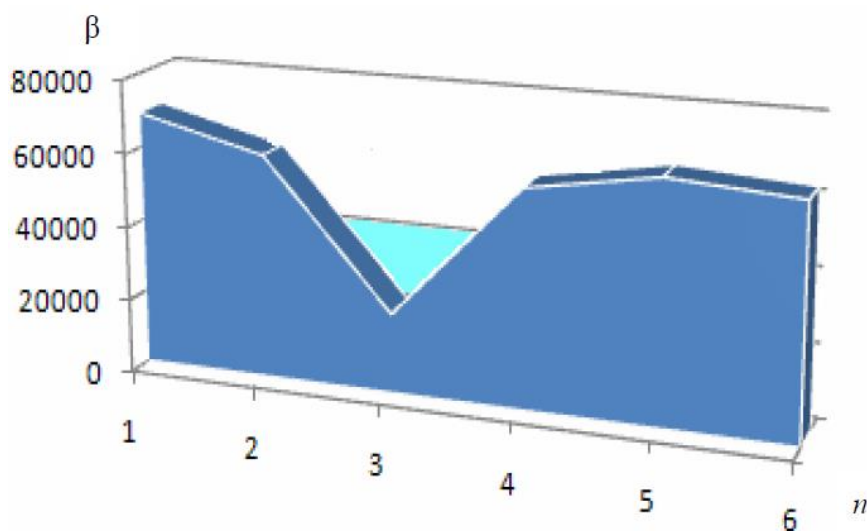


Рис. 3.4. Перевірка кластеризації адаптивного коефіцієнта ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень

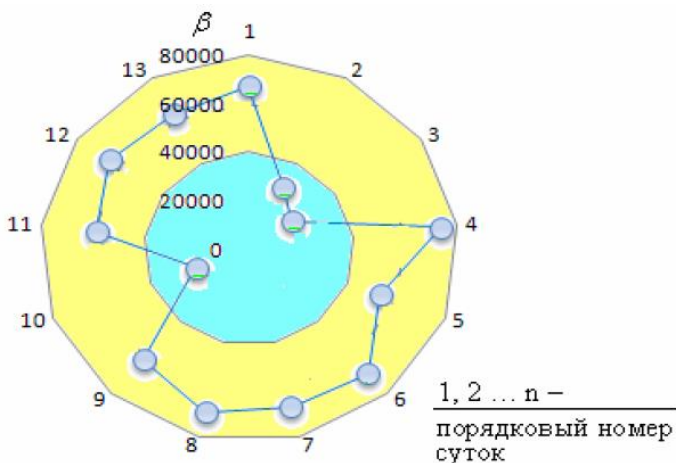


Рис. 3.5. Загальна відображення величин адаптованих коефіцієнтів ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень

Використовуючи реальні ГЕН для різних сезонів, можна переконатися, що запропонований метод кластеризації достовірний і застосуємо без урахування зимового і літнього періоду.

Висновки

Для проведення оптимального аналізу обчислених значень і визначення чітких меж між групами запропоновано адаптивний коефіцієнт ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень замість коефіцієнта варіації.

Перевага використання розробленого методу полягає у визначенні адаптивного коефіцієнта відхилення щодо загальної вибірки значень, який забезпечив збільшення відстані між кластерами, що призвело до зниження впливу величини споживання і форми ГЕН на точність результатів кластеризації.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

З набуттям чинності Закону України «Про ринок електричної енергії» від 13 квітня 2017 року у якому прописані основні засади переходу ОЕС України на балансуючий ринок і засади функціонування оптового ринку, а також кодексів операторів системи передачі та розподілу, відбуваються значні зміни, які пов'язані зокрема з короткостроковим прогнозуванням графіків електричного навантаження, а саме: оператор системи розподілу має здійснювати оперативне планування режимів роботи системи розподілу для забезпечення в кожний момент часу технічної можливості відбору електричної енергії із системи розподілу [29]. Одним із методів оперативного планування є прогнозування електричного навантаження. Для більш точного і ефективного прогнозування всі дані про споживання повинні бути верифіковані, і у разі наявності аномалії – відновлені. Проте верифікація даних є вигідною не тільки для об'єднаної енергетичної системи України, а й для споживачів, причому як промислових, так і побутових, адже верифікація в поєднанні з прогнозуванням, дасть можливість уникнути переплат за електричну енергію, а й більш точно планувати власне споживання, що є дуже важливим і вигідним. Ідея стартап-проекту полягає у створенні програмного забезпечення, яке буде виконувати в собі такі важливі дії як короткострокове прогнозування графіків електричного навантаження, верифікацію даних з використанням результатів прогнозу та відновлення даних у разі необхідності. Розвиток інформаційних технологій зараз дозволяє легко інтегрувати таке програмне забезпечення у будь-яку систему моніторингу та керування. Опис ідеї стартап-проекту для зручності приведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розроблення програмного забезпечення для систем моніторингу та керування розподільними мережами для верифікації, короткострокового прогнозування та відновлення графіків електричних навантажень	1) для операторів систем розподілу	Швидке і точне короткострокове прогнозування, достовірні дані
	2) для промислових споживачів	Швидке і точне короткострокове прогнозування і достовірні дані, можливість заощадження коштів
	3) для побутових споживачів	Швидке і точне короткострокове прогнозування і достовірні дані, можливість заощадження коштів

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Аудит реалізації системи короткострокового прогнозування проведено у вигляді таблиці 4.2

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових: - за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту? - чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити? - чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 4.2 - Аналіз етапів реалізації стартап-проекту

Ідея проекту	Технології та кроки її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Розроблення програмного забезпечення для систем моніторингу та керування розподільними мережами для верифікації, короткострокового прогнозування та відновлення графіків електричних навантажень	Вибір технологій для короткострокового прогнозування, верифікації та відновлення	Наявні	Доступні
	Визначення наявності систем моніторингу та керування	Наявні	Доступні
	Перевірка можливості інтегрувати програмне забезпечення в систему	Немає в наявності	Планується залучити ІТспеціаліста
	Розроблення програмного забезпечення та графічного відображення	Частково наявна	Планується залучення ІТспеціалістів
	Інтеграція розробленого ПЗ	Немає в наявності	Планується залучення ІТспеціалістів

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для запропонованої ідеї є широкий спектр потенційних споживачів, адже всюди де запроваджено облік електричної енергії та систему моніторингу і керування, доцільно використовувати таку технології.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	більше 50
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	більше ніж 50 млн.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідність сертифікації системи згідно законодавства України (державна метрологічна атестація п. 3.14 ПКЕЕ)

На основі вище викладеного, можна зробити висновок що входження в ринок є дуже привабливим, адже ринок має великі обсяги продажу, та немає обмежень. Наступним кроком є аналіз потреб потенційних споживачів, аналіз їх особливостей та вимог до товару.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту наведена у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Отримання точних прогнозів, достовірність даних	Оператор системи розподілу, промислові підприємства, побутові споживачі	Для оператора системи розподілу в першу чергу важливі точність прогнозів і достовірність інформації, а для промислових підприємств та побутових споживачів - вигода	Адекватність, простота застосування, аргументованість, можливість візуалізації
2	Закон України «Про ринок електричної енергії»	Учасники ОРЕ України	Вимоги щодо формування об'ємів закупки електроенергії на ОРЕ України	Точність прогнозу

На основі сформованої таблиці можна зробити висновок, що запропонована ідея цілком відповідає потребам ринку, і матиме попит серед різних груп споживачів. Проводиться аналіз загроз та можливості впровадження проекту, результати якого наведені в таблицях 4.5 та 4.6 відповідно.

Таблиця 4.5 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
1	Конкуренція	Існують компанії які працюють в схожому напрямку, які вже мають визнання та великі команди	Аналіз конкурентів, вивчення їх слабких сторін, приведення проекту до провідних технологій
2	Недостатня точність прогнозу	В умовах сучасного ринку існує загроза швидкого росту вимог до точності прогнозу	Аналіз найсучасніших технологій у сфері, вдосконалення програмного забезпечення
3	Зміна вимог з боку держави	Нові законодавчі акти в сфері енергетики постійно з'являються	Адаптація продукту відповідно до вимог держави
4	Нетрадиційні джерела енергії	За наявності відновлюваних джерел енергії можуть виникнути проблеми з прогнозуванням	Дослідження проблеми, мінімізація впливу

Проаналізовано можливі загрози, на всі можливі випадки у проекті передбачена відповідна реакція.

Такий підхід дозволить проекту успішно подолати можливі труднощі на шляху до реалізації, і допоможе не випадати з ринку.

Таблиця 4.6 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція
1	Вихід на міжнародний ринок	З набуттям визнання, може з'явитися можливість продавати товар за межами України	Переклад інтерфейсу, приведення товару до вимог Європейських стандартів
2	Удосконалення програмного забезпечення	При подальшому вивченні питання прогнозування та верифікації може з'явитися потреба в оновленні ПЗ	Залучення ІТспеціалістів для створення системи оновлення

Як видно з таблиці 4.6 запропонована ідея має перспективи розвитку, а отже, зможе створити конкуренцію іншим компаніям.

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 4.7)

Таблиця 4.7 – Ступеневий аналіз ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється	Вплив на діяльність
Чиста конкуренція	Велика кількість конкурентів	Стимулювання до розвитку
Міжнародний рівень конкурентної боротьби	Основні конкуренти це закордонні фірми	Використання реклами
Міжгалузева конкуренція	Охоплює всі галузі	Поступове розповсюдження
Нецінова конкуренція	Всі серйозні конкуренти в пріоритеті мають якість продукту	Підвищення якості продукту

На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що ідея стартап-проекту є гнучкою і має можливість адаптуватися відповідно до вимог ринку і дій конкурентів за рахунок того, що проект базується в основному на інтелектуальних ресурсах.

В таблиці 4.8 представлено обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.8 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор	Обґрунтування
1	Принципова універсальність і адаптивність моделі	В моделі використовується моделювання із застосуванням штучних нейронних мереж, що дає змогу навчати і адаптувати її до широкого спектру споживачів
2	Новизна послуги	На ринку України і світовому ринку дуже мала кількість компаній пропонують такий
3	Економічність	Мала собівартість розроблення

Отже, запропонована ідея матиме ряд можливостей для конкурування з іншими фірмами за рахунок невеликої собівартості і зручності використання а також універсальності.

За сформованими даними проведемо узагальнення за допомогою SWOT-аналізу

Таблиця 4.9 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони</p> <ul style="list-style-type: none"> - широкий спектр для застосування; - невелика собівартість; - велика кількість послуг; - легко навчитися використовувати; - легко інтегрувати в будь-які системи. 	<p>Слабкі сторони</p> <ul style="list-style-type: none"> - можлива необхідність метрологічної атестації; - відсутність імені як за кордоном так і в межах України; - відсутність досвіду; - необхідність подальшої модернізації; - потрібна велика кількість даних; - відсутність клієнтської бази; - відсутність початкового капіталу.
<p>Можливості</p> <ul style="list-style-type: none"> - можливість самостійно відстежувати своє споживання; - перехід до хмарних технологій; - створення додатку для смартфонів; - вихід на міжнародний ринок; - об'єднання з виробниками систем моніторингу і контролю; - допомога від держави, оскільки ідея може допомогти покращити якість роботи існуючих систем; - розширення діяльності; 	<p>Загрози</p> <ul style="list-style-type: none"> - проблеми із створенням конкурентоспроможного продукту; - зміна законодавства; - відсутність клієнтів на початковому етапі; - відсутність IT-спеціалістів; - відсутність інвестицій.

Отже, в цілому проект має право на існування, проте є потреба у ретельній підготовці до можливих проблем які можуть виникнути у ході впровадження ідеї в життя.

4.4 Розроблення маркетингової програми та програми збуту стартаппроекту

Маркетингова програма буде заснована на перевагах перед конкурентами, які описані вище. Основним напрямком реклами буде описання широкого спектру можливостей, легкість інтеграції до будь-яких систем, можливість зберігати та отримувати дані на смартфон за допомогою хмарних сервісів, та невисока ціна. Для збуту пропонується створити марку продукту, яка максимально чітко описуватиме функціонал, і використовувати рекламу в інтернеті. Висновки У цьому розділі магістерської дисертації було запропоновано ідею стартап-проекту програмного забезпечення, яке буде використовуватися для верифікації графіків навантаження розподільних електричних мереж, основою для верифікації даних буде короткостроковий прогноз графіку електричного навантаження реалізований на мові програмування Python. Було проаналізовано можливість реалізації запропонованого стартаппроекту з різних боків, обґрунтовано, що стартап-проект може бути конкурентоспроможним на рівні з іншим існуючим програмним забезпеченням. Аналіз показав, що в майбутньому ринок на який планується випустити проект буде стрімко збільшуватися. SWOT-аналіз свідчить що у проекту є гарні перспективи для розвитку, але за умови що проекту буде постійно приділятися належна увага і розширюватимуться можливості і функціонал. Для маркетингового просування і збуту обрано рекламу в інтернеті.

Висновки

У цьому розділі магістерської дисертації було запропоновано ідею стартап-проекту програмного забезпечення, яке буде використовуватися для верифікації графіків навантаження розподільних електричних мереж, основою для верифікації даних буде короткостроковий прогноз графіку електричного навантаження реалізований на мові програмування Python. Було проаналізовано можливість реалізації запропонованого стартаппроекту з різних боків, обґрунтовано, що стартап-проект може бути конкурентоспроможним на рівні з іншим існуючим програмним забезпеченням. Аналіз показав, що в майбутньому ринок на який планується випустити проект буде

стрімко збільшуватися. SWOT-аналіз свідчить що у проекту є гарні перспективи для розвитку, але за умови що проекту буде постійно приділятися належна увага і розширюватимуться можливості і функціонал.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було розглянуто метод кластеризації вейвлет-перетворень графіків електричних навантажень. Було запропоновано змінити останній крок обробки вейвлет-коефіцієнтів. Це призведе до формування такої вибірки значень, яка буде підпорядковуватися існуючими статистичними законам. Використавши ряд відомих залежностей, надається можливість для подальшого аналізу розрахункових даних, в даній роботі - кластеризація. Для проведення оптимального аналізу обчислених значень і визначення чітких меж між групами пропонується використовувати адаптивний коефіцієнт ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень замість коефіцієнта варіації.

Перевага використання представленого методу полягає в визначенні параметра, який забезпечить збільшення відстані між кластерами, що призводить до зниження впливу величини споживання і до збільшення залежності від форми ГЕН.

Запропоновано ідею стартап-проекту програмного забезпечення, яке буде використовуватися для верифікації графіків навантаження розподільних електричних мереж, основою для верифікації даних буде короткостроковий прогноз графіку електричного навантаження реалізований на мові програмування Python.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Черемісін М. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням/М. М. Черемісін, В. М. Зубко. – 2005. –192 с.
- 2 Астафьева Н. М. Вейвлет – анализ: основы теории и примеры применения/ Н. М. Астафьева. - Успехи физических наук. – 1996. - т. 166. - № 11. - С. 1145 – 1170. – Библиогр.: с. 1146.
- 3 Дремін І. М. Вейвлети и их использование/ І. М. Дремін, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло - УФН. – 2001. – Т. 171. – №5. – С. 465 - 501. – Библиогр.: с. 468.
- 4 Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий/ А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев. – М.: Недра, 1985.-232 с.-Библиогр.: с. 168.
- 5 Волошко А. В. Метод формирования признаков классификации графиков электрических нагрузок на основе вейвлет – преобразования/ А. В. Волошко. - Промелектро / Научн. журнал, двухмес. - 2009. - № 1. - С. 39 - 43. – Библиогр.: с. 42.
- 6 Дворников С. В. Метод распознавания на основе вейвлет – пакетов/ С. В. Дворников, А. М. Сауков. - Научное приборостроение, 2004. – т. 14, №1. – С. 57 – 65. – Библиогр.: с. 60.
- 7 Козлов П. В. Вейвлет – преобразование и анализ временных рядов/ П. В. Козлов, Б. Б. Чен. – Вестник КРСУ. – 2002. - № 2. - С. 48 - 56. – Библиогр.: с. 54.
- 8 Гнатюк В. И. Методика оптимального управления энергопотреблением/ В. И. Гнатюк. – Энергетика, 2008 г. - №4. – С. 128 – 136. – Библиогр.: с. 131, 132.
- 9 Зуева В.Н., Белозерская Т.Ю. Расчет потерь электроэнергии в силовом трансформаторе, Научно-методический электронный журнал Концепт. 2015. Т. 8. С. 116-120.
- 10 Соловьева И.А. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды Научный диалог. 2013. №7(19)
- 11 Зуева В. Н. Регрессионные методы прогнозирования графика нагрузки электрооборудования, Научный журнал КубГАУ, №126(02), 2017 года, с.1-12

12 Extracting Seasonality and Trend from Data: Decomposition Using R [Электронный ресурс]: <https://anomaly.io/seasonal-trend-decomposition-in-r/>

13 Богатырев, Л.Л. Диагностирование энергетической безопасности и надежности топливо- и энергоснабжения методами теории нечетких множеств, АН Энергетика. - 2004. -№ 4. С. 18-27.

14 Грицай, А. С. Классификация методов краткосрочного прогнозирования электропотребления для субъектов ОРЭМ, Актуальные вопросы энергетики: материалы Всерос. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. Омск, 2016. С. 41–45.

15 Васильев Д.А., Колоколов М.В. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий УБС. 2011.№34.С.254–266.

16 Колодко, Д. В., Мониторинг валютного рынка Forex с помощью различных типов скользящих средних, УЭКС. 2013. № 1 (49). С.17 28 Мицель, А. А. Методы предобработки входных данных для системы прогнозирования финансовых временных рядов, Доклады ТУСУР. 2005. № 3 (11). С. 56–59.

17 Тимчук, С. А. Разработка критерия качества подбора коэффициентов регрессии в задачах прогнозирования электропотребления, ВЕЖПТ. – 2014. – № 8 (71). С. 16–20.

18 Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики ЮНИТИ, 1998. 1005 с 104

19 Бокс, Д. Анализ временных рядов: прогноз и управление, Мир, 1974. 406 с. 32 Vapnik, V. N. Statistical Learning Theory, New York : Wiley, 1998. 736 p.

20 Жилин, Д. М. Теория систем, УРСС, 2004. 183 с. 34 Хайкин, Саймон, Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. Издательский дом «Вильямс», 2006 , 1104с.

21 Круглов, В. В., Борисов, В. В. Искусственные нейронные сети, Горячая линия – Телеком, 2001. 382 с.

22 Бутов П.Л., Оценка эффективности моделей прогнозирования электропотребления, Санкт-Петербург, 2017

23 В.В. Крылов, С.В. Крылов Большие данные и их приложения в электроэнергетике от бизнес-аналитики до виртуальных электростанций 38 В. О.

Артемчук, Т. Р. Білан, І. В. Блінов та ін., Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики, Київ, 2017. 312 с

24 Ицкович, Э. Л. Основные положения рационального построения систем автоматизации энергообъектов разных классов, Автоматизация и ИТ в энергетике, 2013. № 7. С. 2–9.

25 П. П. Макарычев, Л. В. Гурьянов, Э. В. Цукарев, Верификация и валидация данных в автоматизированной системе мониторинга и управления энергопотреблением, Известия высших учебных заведений. Поволжский регион № 4 (40), 2016, С.5-15

26 Цукарев, Э. В., Реализация инициативного опроса на Сервере консолидации технологических данных, Открытые инновации – вклад молодежи 105 в развитие региона : сб. материалов регионального молодежного форума : в 2 т. – Пенза , Изд-во ПГУ, 2013. Т. 1. С. 207–208.

27 В.П. Шкодырев, К.И. Ягафаров, В.А. Баштовенко, Е.Э. Ильина, Обзор методов обнаружения аномалий в потоках данных, 2016

28 V. Chandola, A. Banerjee, V. Kumar, “Anomaly detection: A survey”, ACM Computing Surveys, vol. 41(3), 2009, С. 1–58.

29 Черненко П.О., Мартинюк О.В., Мірошник В.О., Заславський А.І. Достовіризація вихідної інформації про електричне навантаження енергоємних підприємств, Вісн. Вінницького політехн. ін-ту. 2015. № 2. С. 25–31.